



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

Modelos de distribución de la especie *Eulidia yarrellii*
en relación con su competidor (*Thaumastura cora*),
Región de Arica y Parinacota.

Memoria para optar al título de Geógrafa

CHARLOTTE URRA PÉREZ
Profesor Guía: Pablo Sarricolea Espinoza.

SANTIAGO – CHILE

2018

“I’m writing a book about magical creatures”

“Like... an extermination guide?”

*“No. A guide to help people understand **why we should be protecting these creatures instead of killing them.**”*

Newt Scamander.

What was left when that fire was gone?

I thought it felt right but that right was wrong

All caught up in the eye of the storm

And trying to figure out what’s like moving on

And I don’t even know what kind of things I said

My mouth kept moving and my mind went dead

So I’m picking up the pieces, now where to begin

The hardest part of ending is starting again.

Waiting for the end – Linkin Park.

AGRADECIMIENTOS

Llegar hasta este punto, en el cual por fin he terminado de redactar las últimas líneas de esta memoria, fue difícil. Costó sangre, sudor y lágrimas, pero se logró. Y todo gracias al apoyo de diferentes personas que he tenido la suerte de ir conociendo en el camino y a otras tantas que han estado aquí desde el inicio. Claramente, mi familia es el pilar fundamental de todo esto. Sin el apoyo de mi mamá y mi papá, sus consejos y su cariño incondicional, no habría logrado ni la mitad de las cosas que he logrado hacer. También a mis hermanos y hermanas, a Bárbara, Tamara, Pablo y Paul, que ya fuese con sus consejos que me ayudaron a ver la luz en este camino que yo veía tan difícil para lograr escribir una memoria de título que valiese la pena, o con los memes y videos que me ayudaban a alegrar el día cuando andaba estresada, siempre han estado aquí, en las buenas y en las malas. Los quiero hasta el infinito.

Dicen que en la universidad se forman los lazos que duran para el resto de la vida, y espero sinceramente que así sea. Porque sin su apoyo, creo que seguiría en primer año. Dani, Capitán Pía, Malú y Pajarita, fue un placer haber compartido esta aventura con ustedes. Gracias por tantos momentos inolvidables tanto dentro como fuera de la universidad, y por haberme enseñado tanto de geografía como de la vida en general. Por otra parte, no puedo dejar de mencionar a mi mejor amigo, Felipe. Nos conocimos de la forma más random posible, y bastó una máquina de chicles y apuestas de \$100 para que nos volviésemos inseparables. Gracias infinitas por tu apoyo, por aguantar mis ataques de estrés y escucharme cuando andaba triste, por esas tardes de ver invasor Zim y los ataques de risa. Eres el mejor. Y Natacha, obviamente no me iba a olvidar de ti. Gracias por sentirte orgullosa de mi y decírmelo cada vez que podías. Espero sigamos viviendo más aventuras, acá en Chile, en Canadá, o a donde quiera que te lleven los vientos de este mundo.

Y ahora, a lo más formal, por decirlo de alguna forma. En primer lugar, a mi profesor guía, Pablo Sarricolea, por su infinita paciencia conmigo y por ayudarme a resolver todas esas dudas y miedos que surgieron en el camino. Le agradezco mucho todo lo que me enseñó tanto en clases como en este proceso de memoria. También agradezco al profesor Patricio Pliscoff, que hizo que me interesara en la biogeografía y que después me ayudó a decidirme por este tema. Mención especial y honrosa a Gino Sandoval. Ginito, te dije que tendrías agradecimiento, y te lo mereces. Por responder siempre a todas esas dudas que tuve, no solo de tus clases, sino que de cualquier otro ramo y siempre tener un rato libre para conversar de la vida. Eres el mejor ayudante que ha tenido Geografía. Finalmente, agradecer a todas las personas geniales y talentosas que conocí durante mi práctica profesional: a mi jefe Charif Tala, Leonora Rojas, Emma Elgueta, Felipe Méndez, Leisy Amaya, Don Reinaldo Avilés y Jorge Herreros de Lartundo. Fue un placer haber compartido esos meses con ustedes, y gracias por todos los consejos y enseñanzas que me dejaron.

Y así llegamos al final. Una hoja no basta y se quedan muchas cosas en el tintero. Y a ti, que estás leyendo esto, espero que lo que está escrito en estas páginas, te sea de ayuda.

RESUMEN

La acelerada extinción de especies a nivel mundial es una de las mayores preocupaciones en la agenda política internacional. En el caso de Chile, el hecho que un 71% de las especies evaluadas para el año 2016 se encuentre en categoría de amenaza, es una señal de alerta respecto a lo que está sucediendo en el país y con las especies endémicas en el territorio nacional. En esta investigación, el foco se centra en el picaflor de Arica, especie endémica categorizada como “En peligro de extinción”, y las posibles causas por las cuales su población ha disminuido de manera constante desde el año 2004. A partir de la revisión bibliográfica, la realización de modelos de distribución y al análisis de cambio de uso de suelo, se pretendió tener una visión más clara respecto a dos de las hipótesis planteadas por diversos autores para explicar la disminución en la población del picaflor, centrándose en la llegada de un competidor - picaflor de Cora - al territorio chileno durante la década de los '70 y al acelerado cambio de uso de suelo impulsado por el aumento de las plantaciones agrícolas en el territorio. Los resultados señalaron que, si bien ambas especies poseen el mismo nicho dentro de la Región de Arica y Parinacota, queda un factor desconocido que está afectando tanto al picaflor de Arica como a su competidor, e incluso a una tercera especie (*Rodophis vesper*), haciendo que la población de las tres especies esté disminuyendo. Por su parte, el aumento de las superficies plantadas en un período de 20 años viene a reforzar la hipótesis que existe un cambio de uso de suelo y consecuentemente, un deterioro de las especies de flora nativas de la zona, lo que se traduce en una disminución de las fuentes principales de alimento del picaflor de Arica, como el caso del Chañar, a la vez que la instalación masiva de invernaderos, se presenta como una barrera física para la obtención de alimento.

Palabras clave: *Eulidia yarrellii* – modelos de distribución – *MaxEnt* – cambios de uso de suelo.

ABSTRACT

The accelerated extinction of species worldwide is one of the biggest concerns on the international political agenda. In the case of Chile, the fact that 71% of the species evaluated in 2016 were classified like “endangered” species is a warning sign regarding what is happening in the country and with the endemic species in the national territory. This research focuses in the Chilean Woodstar, an endemic species categorized as "Endangered", and the possible causes of why its population has declined steadily since 2004. From the literature review, the realization of distribution models and the analysis of change in land use, it was intended to have a clearer vision about two of the hypotheses proposed by various authors to explain the decrease in the population of the hummingbird, focusing on the arrival of a competitor - the Peruvian Sheartail - to the Chilean territory during the '70 and the accelerated change of land use driven by the increase of the agricultural plantations in the territory. The results indicated that, although both species have the same niche in the region, there is an unknown factor that is affecting both the Chilean Woodstar and its competitor, and even a third species (*Rodophis vesper*), causing the population of the three species to be decreasing. On the other hand, the increase of the planted areas in a period of 20 years reinforces the hypothesis that there is a change of land use and consequently, a deterioration of the native species in the territory, which means the decrease of the main sources of food of the Chilean Woodstar (as in the case of Chañar), while the massive installation of greenhouses, is presented as a physical barrier to obtain food.

Keywords: *Eulidia yarrellii* – species distribution models – *MaxEnt* – land use change.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	4
ABSTRACT	4
CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN	11
1.1. Introducción	11
1.2. Planteamiento del problema.....	12
1.3. Área de Estudio.....	14
1.3.1. Clima	16
1.3.2. Hidrología e hidrogeología.....	17
1.3.3. Agricultura	18
1.4. Objetivos	20
1.4.1. Objetivo General.....	20
1.4.2. Objetivos Específicos	20
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ASUNTO	21
2.1. Nicho ecológico	21
2.1.1. El surgimiento del concepto de nicho ecológico.....	21
2.1.2. Las diferentes definiciones de “nicho”: Johnson, Grinnell, Elton y Hutchinson.	21
2.1.3. Nicho fundamental y nicho realizado.....	23
2.1.4. Diagrama BAM	23
2.2. Modelos de distribución de especies	25
2.2.1. Primeras aproximaciones.....	25
2.1.2. Los pasos a seguir para modelar.	26
2.1.3. Técnicas de modelación.	27
2.1.4. Modelos de distribución de aves, ejemplos.....	29
2.3. Ecología de la conservación	33
2.3.1. El concepto de biodiversidad.....	33
2.3.2. La extinción de las especies y la acción de la conservación.	35
2.3.3. La conservación en Chile	39
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO	44

3.1.	Información respecto a la distribución de <i>E. yarrellii</i> y su competidor <i>T. cora</i> en el territorio comprendido en la Región de Arica y Parinacota	44
3.1.1.	Revisión bibliográfica	44
3.2.	Pasos metodológicos para la creación de bases de datos para la realización de los modelos de distribución de especies.	45
3.3.	Pasos metodológicos para el análisis del cambio de uso de suelo del Valle de Azapa en los últimos 20 años.	55
3.3.1.	Selección de los materiales y tipología para los diferentes usos de suelo.	55
3.3.2.	El levantamiento de uso de suelo: los pasos a seguir para su realización.	56
CAPÍTULO 4: RESULTADOS.....		62
4.1.	El caso de estudio: <i>Eulidia yarrellii</i> y su competidor <i>Thaumastura cora</i>	62
4.1.1.	Características generales.....	62
4.1.2.	Reproducción.....	65
4.1.3.	Hábitat	66
4.1.4.	Tendencia poblacional.....	66
4.2.	Modelación de <i>E. yarrellii</i> y su competidor <i>T. cora</i>	72
4.2.1.	Registros de presencia de especies a modelar.	72
4.2.2.	Modelos de distribución potencial de las especies <i>E. yarrellii</i> y <i>T. cora</i> para la XV Región de Arica y Parinacota.	76
4.3.	El cambio de uso de suelo en el Valle de Azapa, XV región de Arica y Parinacota.	93
4.3.1.	Análisis del cambio de uso de suelo entre los años 1995 y 2005: los diez primeros años.	93
4.3.2.	Análisis del cambio de uso de suelo entre los años 2005 y 2015.....	102
4.3.3.	Análisis del cambio de uso de suelo entre los años 1995 y 2015. Los veinte años en el Valle de Azapa.	108
CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.		112
5.1.	Discusión	112
5.1.1.	En relación con el picaflor de Arica y picaflor de Cora	112
5.1.2.	En relación a los modelos de distribución: la obtención de datos y selección de variables.....	115
5.1.3.	En relación con los usos de suelo.	118
5.2.	Conclusión	120
5.3.	Recomendaciones	121
BIBLIOGRAFÍA.		122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n° 1. "Cartografía del Área de Estudio, Valle de Azapa, XV Región de Arica y Parinacota".....	15
Figura n° 2. Diagrama BAM. Fuente: Peterson et al., 2011.....	24
Figura n° 3. Diagrama BAM. Fuente: Peterson & Soberón, 2012.....	25
Figura n° 4. Esquema de flujo de trabajo para la realización y validación de modelos de distribución de especies.....	27
Figura n° 5. Representación de los tres niveles de la biodiversidad y sus relaciones directas e indirectas.....	34
Figura n° 6. Cuadro resumen de los pasos metodológicos.....	44
Figura n° 7. El modelamiento de nichos ecológicos.....	48
Figura n° 8. "Correlación de las 19 variables bioclimáticas".....	50
Figura n° 9. "Correlación de variables bioclimáticas a través del software R".	51
Figura n° 10. Los diferentes algoritmos y su representación espacial.	52
Figura n° 11. "Interface del software MaxEnt versión 3.4.1".....	53
Figura n° 12. Matriz de confusión.....	54
Figura n°13. Resumen de los pasos metodológicos a seguir para la elaboración del Levantamiento de Uso de Suelo del Valle de Azapa, XV Región de Arica y Parinacota....	56
Figura n° 14. "Picaflor de Arica macho y Picaflor de Cora macho".....	63
Figura n° 15. "Picaflor de Arica hembra y Picaflor de Cora hembra".	64
Figura n° 16. Tendencias poblacionales de <i>E. yarrellii</i> en los valles de Azapa, Vitor y Camarones entre 2003 y 2016	69
Figura n° 17. Tendencias poblacionales de picaflores en los valles de la región entre 2003 y 2016. Los datos incluyen la media estimada más el intervalo de confianza al 90% (líneas amarillas)	70
Figura n° 18. "Cartografía de los registros de presencia de <i>Eulidia yarrelli</i> y su competidor <i>Thaumastura cora</i> presentes en la región de Arica y Parinacota"	73
Figura n° 19. "Cartografía de los registros de presencia de <i>Eulidia yarrelli</i> y su competidor <i>Thaumastura cora</i> presentes en el Valle de Azapa, XV región de Arica y Parinacota".....	75
Figura n° 20. "Cartografía de la distribución potencial de <i>Eulidia yarrellii</i> y su competidor <i>Thaumastura cora</i> en la XV Región de Arica y Parinacota.....	78
Figura n° 21. "Cartografía de la distribución potencial de <i>Eulidia yarrellii</i> y su competidor <i>Thaumastura cora</i> en el Valle de Azapa, XV Región de Arica y Parinacota	84
Figura n° 22. "Cartografía de la distribución potencial de <i>Eulidia yarrellii</i> y su competidor <i>Thaumastura cora</i> en la Cuenca del Río San José, XV Región de Arica y Parinacota	89
Figura n° 23. "Clasificación de Uso de Suelo en el Valle de Azapa, año 1995".....	95
Figura n° 24. "Clasificación de Uso de Suelo en el Valle de Azapa, año 2005".....	97
Figura n° 25. "Porcentaje de cambio de Uso de Suelo entre los años 1995 y 2005 en el Valle de Azapa, XV Región de Arica y Parinacota"	99

Figura n° 26. "Clasificación de Uso de Suelo en el Valle de Azapa, año 2015"	103
Figura n° 27. "Porcentaje de cambio de Uso de Suelo entre los años 2005 y 2015 en el Valle de Azapa, XV Región de Arica y Parinacota"	105
Figura n° 28. "Porcentaje de cambio de Uso de Suelo entre los años 2005 y 2015 en el Valle de Azapa, XV Región de Arica y Parinacota"	109

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico n° 1. Población estimada de picafloros en los valles de Azapa y Vitor, norte de Chile, en septiembre del 2003 y abril del 2004.....	67
Gráfico n° 2. Abundancia estimada del Picaflor de Arica (intervalo de confianza al 90%) en los valles de Lluta, Azapa, Vitor y Camarones (octubre de 2015).	68
Gráfico n° 3. Abundancia estimada (intervalo de confianza al 90%) de picafloros en los valles del norte de Chile (primavera de 2016).....	70
Gráfico n° 4. “Estimación del área ocupada en km2 del E. yarrelli y T. cora para la Región de Arica y Parinacota de acuerdo al modelo de distribución de especies y el área potencial de presencia de cada especie”.	79
Gráfico n° 5. “Contribución porcentual de las variables bioclimáticas al modelado de E. yarrelli y T. cora para la Región de Arica y Parinacota”.....	80
Gráfico n° 6. “Estimación del área ocupada en km2 del E. yarrelli y T. cora para el Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota, de acuerdo al modelo de distribución de especies y el área potencial de presencia de cada especie”	85
Gráfico n° 7. “Contribución porcentual de las variables bioclimáticas al modelado de E. yarrelli y T. cora para el Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota”.	86
Gráfico n° 8. “Contribución porcentual de las variables bioclimáticas al modelado de E. yarrelli y T. cora para la cuenca del Río San José”	90
Gráfico n° 9. “Porcentajes de Uso de Suelo en el Valle de Azapa, año 1995”	94
Gráfico n° 10. “Porcentajes de Uso de Suelo en el Valle de Azapa, año 2005”	96
Gráfico n° 11. “Porcentajes de cambio de Uso de Suelo en el Valle de Azapa entre los años 1995 y 2005”	98
Gráfico n° 12. “Porcentaje de cambio de Uso de Suelo en el Valle de Azapa entre los años 1995 y 2005 según las ponderaciones de la matriz”.....	100
Gráfico n° 13. “Porcentajes de Uso de Suelo en el Valle de Azapa, año 2015”	102
Gráfico n° 14. “Porcentajes de cambio de Uso de Suelo en el Valle de Azapa entre los años 2005 y 2015”	104
Gráfico n° 15. “Porcentaje de cambio de Uso de Suelo en el Valle de Azapa entre los años 2005 y 2015 según las ponderaciones de la matriz”.....	106
Gráfico n° 16. “Porcentajes de cambio de Uso de Suelo en el Valle de Azapa entre los años 1995 y 2015”	108

Gráfico n° 17. “Porcentaje de cambio de Uso de Suelo en el Valle de Azapa entre los años 1995 y 2015 según las ponderaciones de la matriz”.....	110
Gráfico n° 18. “Tendencia poblacional estimada de picaflores en los Valles de XV Región de Arica y Parinacota”.....	113
Gráfico n° 19. Superficie sembrada o plantada de hortalizas en la Región de Arica y Parinacota entre los años 2007 y 2015".....	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla n° 1. "Uso de agua en el Valle de Azapa"	18
Tabla n° 2. "Superficie regional por rubro silvoagropecuario"	18
Tabla n° 3. "Resumen de las categorías de conservación de las especies establecidas por la IUCN, la Ley n°19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, y la Ley n°20.417"	43
Tabla n° 4. "Variables bioclimáticas de Pliscoff et al., 2014"	50
Tabla n° 5. Nomenclatura Corine Land Cover (CLC)	56
Tabla n° 6. “Paralelo bandas Landsat 7 y Landsat 8”	57
Tabla n° 7. “Combinación de bandas”	58
Tabla n° 8. “Matriz de los años 1995 y 2005 para los usos de Suelo”	59
Tabla n° 9. “Matriz de los años 2005 y 2015 para los usos de Suelo”	59
Tabla n° 10. “Matriz de los años 1995 y 2015 para los usos de Suelo”	59
Tabla n° 11. “Matriz de clasificaciones respecto a la ponderación estimada.”	60
Tabla n° 12. “Variables bioclimáticas de Pliscoff et al., 2014, utilizadas para la realización de los modelos de distribución para la especie E. yarrellii y T. cora respectivamente”	76
Tabla n° 13. Promedios de las variables bioclimáticas respecto a los registros de especies de Eulidia yarrellii y Thaumastura cora en la Región de Arica y Parinacota	81
Tabla n° 14 Promedios de las variables bioclimáticas para los MDE de Eulidia yarrellii y Thaumastura cora en la Región de Arica y Parinacota.....	81
Tabla n° 15 Promedios de las variables bioclimáticas para las áreas de mayor potencial de presencia de las especies en los MDE de Eulidia yarrellii y Thaumastura cora en la Región de Arica y Parinacota.....	82
Tabla n° 16. Promedios de las variables bioclimáticas respecto a los registros de especies de Eulidia yarrellii y Thaumastura cora en el Valle de Azapa. Fuente: Elaboración propia. ...	86
Tabla n° 17 Promedios de las variables bioclimáticas para los MDE de Eulidia yarrellii y Thaumastura cora en el Valle de Azapa	87
Tabla n° 18. Promedios de las variables bioclimáticas respecto a los registros de especies de Eulidia yarrellii y Thaumastura cora en la Cuenca del Río San José.....	91
Tabla n° 19 Promedios de las variables bioclimáticas para los MDE de Eulidia yarrellii y Thaumastura cora en la Cuenca del Río San José	92
Tabla n° 20. Promedios de las variables bioclimáticas para las áreas de mayor potencial de presencia de las especies en los MDE de Eulidia yarrellii y Thaumastura cora en la cuenca del Río San José.....	92

Tabla n° 21. “Tipo de cambio de uso de suelo en el Valle de Azapa entre los años 1995 y 2005 según las ponderaciones de la matriz”	101
Tabla n° 22. “Tipo de cambio de uso de suelo en el Valle de Azapa entre los años 2005 y 2015 según las ponderaciones de la matriz”	107
Tabla n° 23. “Cambio de superficie de uso de suelo respecto a los invernaderos entre los años 2005 y 2015 en la región de Arica y Parinacota”	107
Tabla n° 24. “Tipo de cambio de uso de suelo en el Valle de Azapa entre los años 1995 y 2015 según las ponderaciones de la matriz”	111
Tabla n° 25. “Variación de la superficie plantada. Especies mayores”	132
Tabla n° 26. “Variación de la superficie plantada. Especies menores”	133
Tabla n°27. “Tabla resumen sobre las diferentes concepciones del concepto nicho a través de los años”	134
Tabla n°28. “Principales hitos, políticas públicas y estrategias nacionales para la Conservación de la Biodiversidad en Chile.....	136
Tabla n° 29. Principales cuerpos normativos en materia de biodiversidad	136
Tabla n°30. Categoría de conservación de las Especies.....	138
Tabla n°31. Categorías de conservación establecidas en la Ley n°19300 de Bases Generales del Medio Ambiente	139
Tabla n°32. Categorías de conservación establecidas en la modificación de la Ley n°19300 de Bases Generales del Medio Ambiente	141
Tabla n°33. Nomenclatura Corine Land Cover (CLC)	143

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1. Introducción

La conservación de la biodiversidad es una tarea prioritaria tanto a nivel mundial como nacional, sobre todo considerando que desde el siglo XVI, el número de especies extintas supera las 800 (Refoyo *et al.*, 2013; Squeo *et al.*, 2010), siendo la modificación, destrucción y fragmentación del hábitat, la introducción de especies exóticas y la sobreexplotación de las especies, los principales responsables de ello (Ceballos & Ortega-Baes, 2011). El número de especies extinta, por tanto, resulta muy preocupante dado que una vez extinta, la especie no puede ser recuperada dada la pérdida de su genoma, lo que trae consigo una reacción en cadena donde las especies con las cuales interactuaba o se interrelacionaba, se ven afectadas (Torres-Mura, Castro & Oliva, 2008). La clasificación de especies, por tanto, se muestra como una herramienta útil dentro de la conservación dado que permite priorizar y focalizar los esfuerzos de conservación en las especies con un mayor grado de amenaza respecto a otras.

Según las estimaciones en Chile para el año 2016, cerca de un 71% de las especies clasificadas fueron evaluadas en la categoría de amenaza, vale decir, se encuentra en la categoría “En peligro crítico”, “En peligro” o “Vulnerable”, siendo un 73% de estas del grupo animalia (Carrasco-Lagos *et al.*, 2016). Por su parte, el Ministerio del Medio Ambiente a través del inventario de especies, establece que al menos 47 especies de aves se encuentran en categoría de amenaza (MMA, s.f.a) siendo el picaflor de Arica una de ellas.

El picaflor de Arica (*Eulidia yarrellii*), especie endémica del norte de Chile, es conocida por ser una de las especies que, en el último tiempo, ha disminuido de manera significativa y casi constante el número de sus individuos, siendo clasificada como una especie en “Peligro Crítico” por la International Union for Conservation of Nature (IUCN) el año 2015 (Birdlife International, 2017; Estades *et al.*, 2007; Herreros de Lartundo, Tala & Estades, 2013), alcanzando una población de apenas 380 individuos en el Valle de Azapa y de sólo 54 individuos para el Valle de Vítor (AvesChile, 2016).

Frente a este último hecho, la presente memoria buscó plasmar espacialmente una de las posibles causas de su extinción a través de la realización de modelos de distribución para el picaflor de Arica y también para el picaflor de Cora, el cual es considerado como una especie competidora que ocuparía el mismo hábitat del picaflor de Arica, para ver si efectivamente ambas especies poseen el mismo nicho. Además, se realizó una evaluación del cambio de uso de suelo en el Valle de Azapa dado que esto es considerado, por algunos autores a través de la literatura, como una segunda causa de la extinción de la especie, fijándose principalmente en el aumento de las plantaciones agrícolas, las cuales significaron una disminución de las especies endémicas e importantes dentro de la alimentación del picaflor de Arica (como el caso del Chañar) así como también la instalación de invernaderos, que producen una barrera de acceso hacia las flores de las plantaciones y posible alimento del picaflor.

1.2. Planteamiento del problema

La biodiversidad o diversidad biológica, es definida como “*la variabilidad entre organismos vivientes de todo tipo u origen, incluyendo, entre otros, ecosistemas terrestres, marinos y otros sistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los cuales ellos forman parte. Esto incluye diversidad dentro de las especies (genética), entre especies (específica) y de ecosistemas*” (Sarandón, 2010. p. 106) lo cual, en palabras más simples, se explica como el conjunto de todas las formas de vida en el planeta, vale decir, a la variedad y variabilidad de todos los organismos y los complejos ecológicos en los cuales se encuentran, así como las relaciones generadas entre ellos a diferentes escalas espaciales o de organización (Lazo et al, 2008; CONAMA, 2008; Martínez, s.f).

La importancia en su protección y conservación, radica en que la biodiversidad entrega diversos bienes y servicios que tienen un valor ya sea productivo, recreativo, estético o ecológico, por nombrar algunos (Torres-Mura, Castro & Oliva, 2008), y donde la desaparición y/o extinción de una especie, resulta devastadora al no poder ser recuperada y que además, conlleva un efecto en cadena donde otras especies asociadas e incluso el mismo hábitat, se pueden ver afectados (Torres-Mura, Castro & Oliva, 2008).

Y si bien la extinción de especies se ha producido a lo largo de la historia evolutiva del planeta, el número de especies con riesgo de extinguirse ha ido en aumento (Squeo *et al.*, 2010). Para explicar un poco este fenómeno, es que se han establecido tres grandes factores causantes de esto: la modificación, destrucción y fragmentación del hábitat, la introducción de especies exóticas y la sobreexplotación de las especies, de las cuales, el punto focal de todas ellas, y la cual es considerada como la principal causa, es la acción del hombre (Torres-Mura, Castro & Oliva, 2008; Bordehore, 2001)

La clasificación de las especies de acuerdo a su grado de amenaza es, por lo tanto, fundamental dado que permite que los esfuerzos, recursos y planes de acción se concentren en las especies de mayor riesgo (Romero *et al.*, 2013), sobre todo considerando la gran cantidad de especies que se encuentran con algún grado de amenaza a nivel mundial. En el caso de Chile, por ejemplo, 795 especies se encuentran categorizadas como especies amenazadas, siendo 8 especies pertenecientes al reino *fungi*, 444 al reino *plantae* y 343 al reino *animalia*. (MMA, s.f.a)

En conjunto a la información de la clasificación de una especie, el saber cómo se distribuye en las dimensiones geográficas y en las dimensiones ambientales, resulta de gran importancia dado que permite saber cómo una especie se desarrolla y se comporta (Peterson & Soberón, 2012). A partir de esto, surgen los “modelos de distribución”, los cuales son una representación cartográfica de las *predicciones* sobre el espacio geográfico o hábitat ideal de una especie. Los modelos se construyen a partir de los datos de presencia e información geográfica y/o factores medioambientales subyacentes (Quevedo *et al.*, 2015; Mateo, Felcimo & Muñoz, 2011; Elith & Graham, 2009).

El picaflor de Arica es un pequeño colibrí abeja de aproximadamente siete centímetros, el cual fue una especie propia de la zona sur de Perú y la zona norte de Chile, aunque sus registros en el país vecino son tan escasos, que es considerada actualmente como una especie endémica de la región de Arica y Parinacota (Cruz, 2006). Pero, el número de sus individuos en los diferentes valles que conforman la región ha disminuido tanto y de manera tan constante, que el año 2015 la International Union for Conservation of Nature (IUCN) la clasificó como una especie en “Peligro crítico”, lo que significa que el riesgo de extinción es extremadamente alto en estado de vida silvestre (IUCN, 2000).

La razón exacta de tal disminución es desconocida, pero dentro de la literatura existen tres hipótesis: la primera se refiere a la llegada de un picaflor competidor, llamado Picaflor de Cora (*Thaumastura cora*) a la región, el cual arribó al país en la década del ‘70 y se volvió una especie común de encontrar en el Valle de Azapa (Estades *et al.*, 2007). La segunda, se refiere a la pérdida y degradación del hábitat, donde varios de los valles donde la especie ha sido encontrada y registrada han sufrido alteraciones, como el aumento de plantaciones agrícolas e invernaderos y con ello, la disminución de especies nativas como el chañar, una de las fuentes principales de alimento del picaflor de Arica (Estades *et al.*, 2007; Herreros de Laturdo, Tala & Estades, 2013). Y la tercera, relacionada con el punto anterior, se refiere a los pesticidas, los cuales son masivamente utilizados dada las condiciones climáticas de los valles, que hacen que las zonas sean propensas a desarrollar pestes en los cultivos, y también para erradicar la mosca de la fruta (Estades *et al.*, 2007).

La presente memoria, se enfocó en dos de las tres hipótesis descritas, siendo la llegada del picaflor de Cora y el cambio de uso de suelo los temas a tratar en los siguientes capítulos, como una forma de acercarse hacia una respuesta respecto a si, en primer lugar, el competidor se distribuye realmente en el mismo nicho que el picaflor de Arica, siendo ésta la posible causa de una mayor competitividad entre ambas especies por el alimento y sitios de nidificación y, en segundo lugar, comprobar si efectivamente ha aumentado la superficie agrícola en el área de estudio, si la tierra no intervenida en el territorio ha aumentado o disminuido y si el número de invernaderos – lo cual podría contemplarse como un obstáculo para el picaflor de Arica a la hora de buscar alimento –, ha aumentado.

1.3. Área de Estudio

La Región de Arica y Parinacota se localiza en el norte grande de Chile, limitando con Perú (al norte) y con Bolivia (al este). Forma parte de la zona intertropical sudamericana, la cual le confiere características específicas en comparación al resto del país, como la producción de lluvias en época estival producidas por la llegada de masas de aire provenientes del nororiente (CIREN, 2013). Por su parte, el relieve presente en la región influye en las condiciones climáticas, las cuales son consideradas como las más extremas del mundo, particularmente la extrema aridez que ha predominado desde el Mioceno Medio (González, 2015).

La cordillera de la Costa, la Depresión Central, la Precordillera y la Cordillera Occidental, son las cuatro unidades morfológicas longitudinales presentes en la región:

(i) La cordillera de la Costa posee un rango de altitud entre los 300 y 400 msnm – que se ve interrumpido ocasionalmente por el desagüe de las quebradas regionales –, y posee un ancho de hasta 30 km que se va angostando a medida que avanza hasta desaparecer al norte de Arica, siendo las condiciones hiperáridas presentes desde el Neógeno las que explicarían que las tasas de erosión fuesen muy bajas y que permitieron la conservación de diversas geoformas tales como superficies de bajo relieve, escarpes de falla, acantilados costeros y valles incisos (González, 2015; BCN, s.f.).

(ii) La Depresión Central o pampa interior, está formada por material sedimentario continental e ingnimbrítico de la edad de Oligoceno-Mioceno, el cual hace que su topografía sea relativamente regular, interrumpida por cursos de agua y quebradas tales como la Quebrada de Azapa, la Quebrada de Vítor y la Quebrada de Camarones (González, 2015; BCN, s.f.). Hacia la zona occidental, la pampa interior se solapa con el borde oriental de la Cordillera de la Costa, haciendo que el límite entre ambas unidades morfológicas sea difuso, aunque en superficie, es posible observar una cota promedio de 1000 msnm para el límite entre ambas (González, 2015; BCN, s.f.).

(iii) La cordillera de los Andes o Cordillera Occidental se caracteriza por su topografía plana en altura, denominada altiplano, la cual posee una extensión de 200 km de ancho y donde la mayor parte pertenece a Bolivia y alcanza una altura aproximada de 4.400 msnm. (BCN, s.f.; Seyfried *et al.*, 1998).

Por su parte, la región cuenta con cuatro valles: Lluta, Azapa, Vítor y Camarones (Medrano & Vielma, 2016). El valle de Azapa se localiza en la parte baja de la cuenca del río San José, entre las localidades de Saucache y Pampa Grande, con una anchura que varía entre los 700 y 2.200 m y un largo que alcanzaría los 58 km (González *et al.*, 2013; Jiménez, 2013).

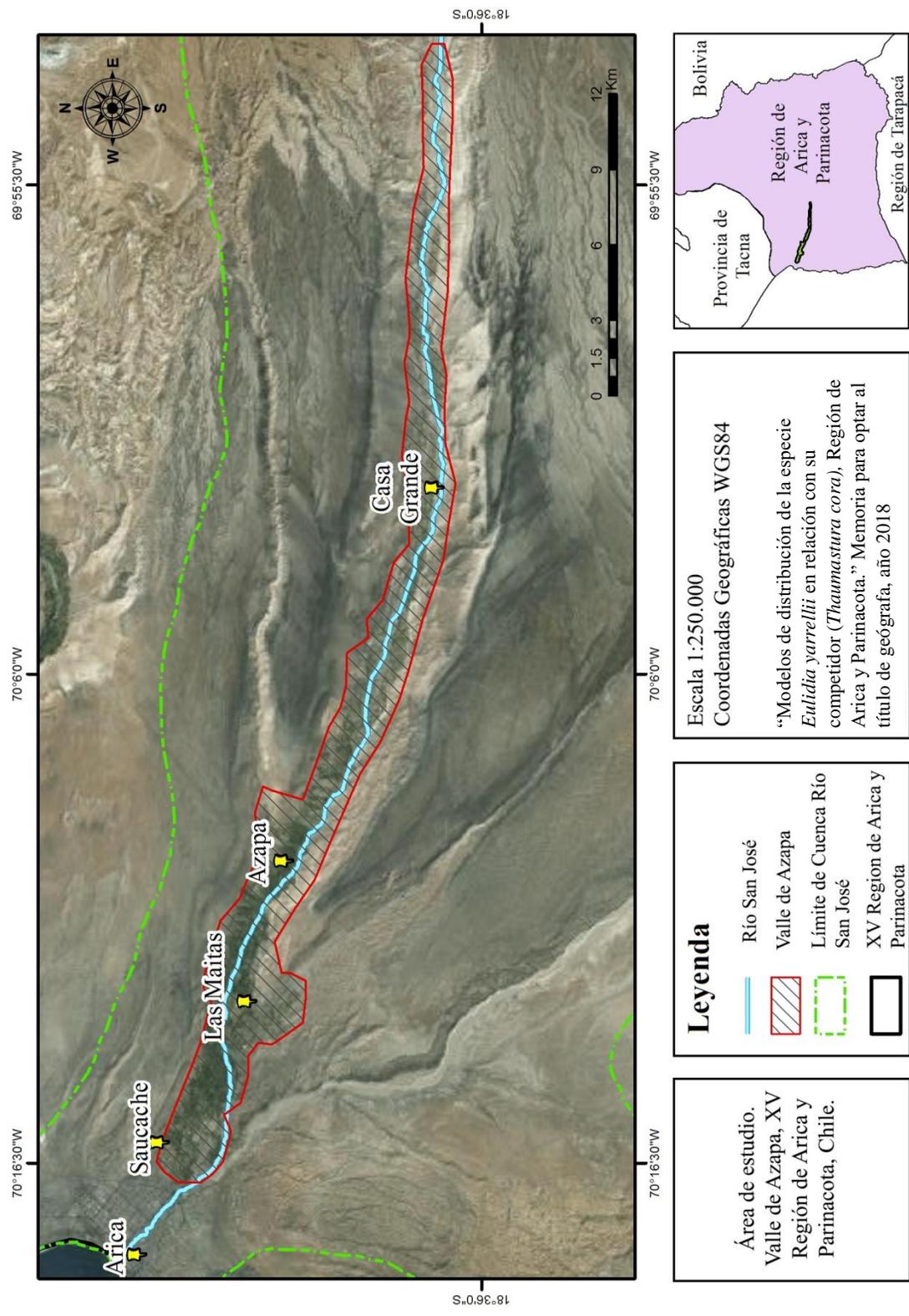


Figura n° 1. "Cartografía del Área de Estudio, Valle de Azapa, XV Región de Arica y Parinacota". El límite en color rojo del área de estudio fue elaborado en base al límite rural entregado por GISdata Chile. Fuente: Elaboración propia.

1.3.1. Clima

La región de Arica y Parinacota, la cual es parte de la macroregión denominada como “Norte Grande”, se caracteriza por un clima árido a hiperárido, con nubosidad abundante en la costa, ausencia de heladas, vientos moderados con alta humedad relativa y alta radiación solar directa, con una temperatura media cercana a los 18°C (para el año 2008), una temperatura máxima media que pasó de los 21.8°C a los 23.6°C en un período de 37 años, y una temperatura media mínima que pasó de los 15.2°C a los 13.8°C en el mismo período de años (Jiménez, 2013; Espinoza, 2013).

En el caso de la clasificación Köpper-Geiger de Chile, la región se clasifica dentro del clima árido (B), donde cerca del 75% del territorio de dicha macroregión está bajo esta categoría, y polar (E), este último influenciado por la elevación de los Andes que supera los 3.000 msnm (Sarricolea, Herrera-Ossandon & Mesenguer-Ruiz, 2016).

La variación dentro de la región es más longitudinal que latitudinal, identificándose 5 regiones climáticas:

- (i) Clima desértico cálido (BWh), presente en la zona costera de la región, entre los 150 y 800 msnm, que posee una temperatura media de 18,5°C y una precipitación media de 10 mm
- (ii) Clima desértico frío, presente entre los 300 y 3.000 msnm, con una temperatura media de 16°C y una precipitación media de 16 mm,
- (iii) Clima desértico frío de lluvia estival (BWk) presente entre los 1.000 y 3.500 msnm y con una temperatura y precipitación media de 13°C y 10 mm,
- (iv) Clima semiárido de lluvia estival, presente entre los 2.500 y 4.000 msnm, con una temperatura y precipitación promedio de 8,5°C y 65 mm respectivamente, y
- (v) Clima de tundra de lluvia estival (ET), una de las zonas más extensas, presente en las zonas entre los 3.500 y 6.200 msnm, tiene una temperatura y precipitación promedio de 4°C y 120 mm (Sarricolea, Herrera-Ossandon & Mesenguer-Ruiz, 2016).

Dicha variación climática, puede explicarse dado que la parte occidental de la depresión central se ve influenciada por el Océano Pacífico, el cual actúa como un ente regulador de las temperaturas en las zonas litorales, mientras que, en la alta cordillera, la altitud se presenta como un gran influyente de las temperaturas, dando una relación inversamente proporcional, donde las temperaturas descienden a medida que la altitud aumenta (Espinoza, 2013; González *et al.*, 2013; CIREN, 2013).

Por su parte, las precipitaciones se hacen presentes tanto en la época de invierno como en la época estival, siendo la parte alta de la cuenca la que concentra la mayor parte de las precipitaciones (Jiménez, 2013). En la zona del altiplano, las masas de aire provenientes del nororiente más el efecto de borde del denominado “Invierno Boliviano”, resultan en un régimen de lluvias estivales el cual se extiende entre los meses de diciembre a marzo y que representa aproximadamente el 80% de las precipitaciones anuales de la región, lo que equivale a un aproximado entre los 250 y 300 mm (Jiménez, 2013; Espinoza, 2013).

1.3.2. Hidrología e hidrogeología.

Dentro de la región, se distinguen dos sistemas de drenaje principales: uno en la zona oriente, conformado por la cuenca cerrada centrípeta del Salar de Surire y las cuencas del río Lauca y del río Caquena-Cosapilla, y el segundo, el occidental, conformado por las cuencas de los ríos Lluta, Azapa, Vítor y Camarones, los cuales desaguan en el Océano Pacífico (Espinoza, 2013).

El Valle de Azapa, en tanto, es abastecido por el agua proveniente de la precordillera a través del canal Lauca y de las aguas subterráneas, pero es el río San José (o Azapa) el principal recurso hidrológico del valle (Jiménez, 2013)

La cuenca del río San José, se localiza entre los paralelos 18°29' y 18°37'S y 70°19' y 69°21'O, al sur de la Hoya del Lluta y está compuesta por las subcuencas Azapa Alto y San José y el cual se conforma por la confluencia de dos tributarios principales: el río Seco y el río Tignamar (González *et al.*, 2013), siendo las precipitaciones de lluvia estivales del Altiplano su principal abastecedor de agua, lo que lleva a que en la temporada Diciembre-Marzo el caudal del río sea suficiente como para sobrepasar al valle y desembocar en el Océano Pacífico, fenómeno que dura alrededor de 20 a 30 días, mientras que el resto del año, posee un carácter de escurrimiento permanente sólo hasta la zona de Livilcar (a unos 50 km al este de Azapa) y efímero hasta la desembocadura en el Océano Pacífico (Espinoza, 2013), siendo más estrecho en sus inicios (en un cañón de más de 1000 m) y que se va ensanchando hacia el oeste, llegando hasta los 2 km de ancho en la zona de su desembocadura (Espinoza, 2013).

Por su parte, el río Seco se forma a 3500 msnm cerca de la localidad de Zapahuira (a unos 80 km al noreste de Azapa) y posee un largo de 25 km, cuyo cauce se estrecha en una garganta-desfiladero hasta juntarse con el río Tignamar, el cual nace en las faldas del cerro Orcotunco (a unos 100 km de Azapa) y que se desarrolla por cerca de 45 km hasta dar inicio al río San José, alimentando su cauce en la zona inferior con las aguas provenientes de las quebradas de Pachama, Belén y Lupica (Espinoza, 2013).

Geológicamente, el valle está formado principalmente por sedimentos de origen fluvial, aunque también es posible encontrar rocas de basamento que afloran en el Valle de Azapa, depósitos marinos y depósitos fluviales, donde el río San José formó terrazas fluviales en la ribera del río, siendo estos depósitos los que conformarían el acuífero más importante del Valle, con una alta permeabilidad dada por la composición de gravas, arenas y limos que posee (Jiménez, 2013).

A nivel regional, el año 2011 la demanda de agua del Norte Grande (que abarca las regiones de Arica y Parinacota y Tarapacá), era de aproximadamente 16,7 m³/s mientras que la oferta apenas alcanzaba los 11,9 m³/s (Meseguer *et al.*, 2017). En el caso del Valle de Azapa, casi el 50% del agua disponible se utiliza en el ámbito agropecuario, seguido por el uso humano (agua potable), la industria, minería, energía y turismo (ver tabla n°1), pero la disponibilidad del recurso hídrico ha ido disminuyendo, debido a la intensa sobreexplotación y el uso que se le está dando (González *et al.*, 2013; Jiménez, 2013). Para el año 2008, el nivel de

explotación aumentó a 740 L/s (aproximadamente un 30% más que en años anteriores) lo que, sumado a las solicitudes de derechos de agua, más un sistema de regadío ineficiente y una sobre-fertilización del sector, han llevado a que el agua del Valle de Azapa tenga una menor calidad y que el acuífero pueda colapsar en un plazo aproximado de 5 años (González *et al.*, 2013; Jiménez, 2013).

Año	Agropecuario	Agua Potable	Industrial	Minero	Energía	Turismo	Caudal Ecológico	Total
2005	1228	447	247	17	6	4	90	2039
2015	1395	546	475	21	6	7	90	2540
2030	1395	751	1270	29	6	11	90	3552

Tabla n° 1. "Uso de agua en el Valle de Azapa". Fuente: AC Ingenieros, 2007 citado por Jiménez, 2013, p.22.

1.3.3. Agricultura

La región de Arica y Parinacota y los valles fértiles que la componen, destacan por sus condiciones climáticas idóneas para variados cultivos (Espinoza, 2013), abarcando cerca del 0.2% de la superficie nacional dedicada a rubros silvoagropecuarios, donde destacan el grupo de las hortalizas, los frutales y las forrajeras – para ver un mayor detalle, revisar la tabla n°2 – (ODEPA, 2017).

Rubro	Región (ha)	Cultivo/Región
Hortalizas	3091,6	46,2%
Frutales	1775,8	26,5%
Forrajeras	1569,2	23,4%
Semilleros y almácigos	71,5	1,1%
Huertos caseros	52,3	0,8%
Viñas y parronales	44,8	0,7%
Flores	32,5	0,5%
Leguminosas y tubérculos	23,9	0,4%
Plantaciones forestales	19,7	0,3%
Cereales	11,9	0,2%
Cultivos industriales	0,0	0,0%
Viveros	0,1	0,0%
Total	6693,4	100%

Tabla n° 2. "Superficie regional por rubro silvoagropecuario". Fuente: ODEPA, 2007 a partir de la información del VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal, p. 6.

Dentro de la categoría de las hortalizas, el 60% de la superficie hortícola está dedicada a la plantación de tomate (843,4 ha) y choclo (1001,5 ha) (ODEPA, 2007), mientras que, en el rubro frutícola, destacan los cultivos de olivo, con una superficie plantada de 790,51 ha a nivel regional, así como también el mango (76,51 ha), la guayaba (12,95 ha), el maracuyá (20,83 ha), el mandarina (13,58 ha) y la lima (10,72 ha). La lista completa para el año 2016, se puede observar en los Anexo n°01: tablas n°25 y n°26.

Y si bien el Valle de Azapa se encuentra consolidado como una de las áreas más productivas desde el punto de vista agrícola, el desarrollo de cultivos en las laderas del río San José podría traer consecuencias negativas dada la presión que esto puede ejercer sobre el acuífero, mientras que por otro lado, la calidad de las aguas, así como la falta de electrificación, conectividad y comunicación telefónica, restringen y limitan el desarrollo y productividad agrícola del sector (Ministerio de Agricultura, 2016).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar los patrones de distribución espacial y temporal de *E. yarrellii* en conjunto con su competidor (*T. cora*) en el Valle de Azapa, modelando sus nichos en el territorio en los últimos 20 años en conjunto con los cambios de uso de suelo.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Indagar sobre la distribución de *E. yarrellii* en conjunto con su competidor (*T. cora*) en el Valle de Azapa mediante la revisión de la literatura científica
2. Modelar la distribución espacial tanto para *E. yarrellii* y *T. cora*.
3. Analizar la distribución en conjunto con el cambio de uso de suelo para ver cómo han influido en la disminución de la población del picaflor de Arica.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ASUNTO

2.1. Nicho ecológico

2.1.1. El surgimiento del concepto de nicho ecológico.

La geobotánica de principios del siglo XX sistematizó el conocimiento de la distribución de especies vegetales y su relación con el clima cuando complementó la información obtenida en terreno con el nuevo conocimiento cartográfico del planeta, lo que permitió la construcción de una relación causal entre la distribución geográfica de especies vegetales y la distribución espacial del clima (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a).

Posteriormente, desde la ecología surge el concepto de *nicho ecológico*, el cual es considerado uno de los conceptos de mayor importancia, dado que amplía fuera del ámbito de la botánica la relación de los seres vivos con los factores abióticos, abarcando las problemáticas referentes a los factores que afectan las áreas de distribución geográficas de las especies o la composición y estructura de las comunidades ecológicas (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a; Soberón & Miller, 2009). Tal es la importancia de este nuevo concepto en la ecología, que ha sido considerado para convertirse en la primera teoría general y unificadora de la ecología (Milesi & Lopez de Casenave, 2005).

2.1.2. Las diferentes definiciones de “nicho”: Johnson, Grinnell, Elton y Hutchinson.

Los conceptos de nicho son numerosos y diferentes, lo que ha creado una maraña de conceptos que ha llevado a que algunos autores sugieran que el término como tal debiese quedar sin una definición (Soberón & Miller, 2009; Soberón & Nakamura, 2009; Peterson *et al*, 2011). Las diferencias en el concepto dependen de la importancia relativa y la formulación que se da por tres puntos interrelacionados: (1) el sentido de “existir indefinidamente”, (2) la clase de variables que constituyen el hipervolumen y (3) la naturaleza de los bucles de retroalimentación entre una especie y las variables que componen dicho hipervolumen (Peterson *et al*, 2011).

Soberón (2007), por su parte, distingue tres factores diferentes a la hora de aclarar el concepto de “nicho”:

- i. El nicho como hábitat debe distinguirse del nicho como función
- ii. Distinguir los nichos, vale decir, hacer la distinción entre el nicho a escala de la ecología y la fisiología de las pequeñas poblaciones o individuos de los nichos definidos en las extensiones espaciales más grandes donde los límites distributivos sí importan
- iii. Distinguir entre variables de nicho como recursos o como condiciones, teniendo en consideración que los nichos que utilizan las variables de recursos deben especificar tanto las tasas de suministro como los mecanismos y parámetros de consumo e impactos de los consumidores sobre los recursos.

Pero a pesar de estas diferencias entre unos y otros autores respecto a los conceptos utilizados, estos tienen un punto en común: el descubrir cuáles son los factores ecológicos-ambientales que permiten a una especie existir en un espacio geográfico determinado o en una comunidad biótica determinada, así como los impactos o efectos que la especie puede tener sobre dichos factores ambientales (Peterson et al, 2011; Soberón & Miller, 2009).

Dentro de las definiciones de nicho, se destacan las aproximaciones de cuatro autores: Johnson (1910), Grinnell (1924), Elton (1927) y Hutchinson (1957), las cuales han sido discutidas y analizadas por variados autores a lo largo del tiempo de acuerdo con las consideraciones propias para definir el “nicho” (ver Anexo n°02, tabla n°27).

Johnson (1910), es el primero en utilizar el término “nicho” en una forma explícitamente biológica, en su publicación respecto a los hábitos y hábitats de las mariquitas (*ladybird beetles*), donde se refiere a nicho como la unidad de distribución determinada por el suministro de alimento y los factores ambientales (Chase & Leibold, 2003; Eliosa, Nieto & Navarro, 2010). Sin embargo, y a pesar de Johnson es el pionero en este tema, se considera a Grinnell como el fundador del concepto como tal (Chase & Leibold, 2003).

En el año 1917, al estudiar el nicho de *Toxostoma redivivum* en relación con su área de distribución, Grinnell conceptualizó el término “nicho” como los requerimientos climáticos y de hábitat de la especie expresados geográficamente, vale decir, considera todas las condiciones ecológicas necesarias para que la especie exista y mantenga su población, incluyendo las limitaciones morfológicas, hábitos alimenticios, la tolerancia física y la relación e interacción con otros miembros de la comunidad, especialmente con los depredadores (Peterson et al., 2011; Peterson, 2003; Chase & Leibold, 2003). A su vez, establece que el nicho ecológico o ambiental, es ocupado por una sola especie o subespecie y que, en caso que el nicho se desocupe o surja uno nuevo, la naturaleza se apresura en abastecerlo con un ocupante nuevo, independiente de cuál sea el material disponible en ese momento (Grinnell, 1924).

Elton (1927) por su parte, provee el segundo mayor avance en el uso del término “nicho”, entendiéndolo como el papel funcional que tiene una especie en una comunidad, su relación dentro de la cadena alimenticia (o ciclo de la alimentación) y su relación con los depredadores, poniendo énfasis en el efecto e impacto que tienen las especies en el entorno (Peterson et al., 2011; Chase & Leibold, 2003; Eliosa, Nieto & Navarro, 2010).

Finalmente, y siendo la concepción de nicho más utilizada, donde se integran tanto las ideas anteriores como las propias conclusiones, es la realizada por Hutchinson (1957) donde se refiere al nicho como un hipervolumen de n-dimensiones de variables ambientales (factores) que permitirían la existencia de una especie indefinidamente, vale decir, donde la especie pueda sobrevivir (Peterson et al., 2011; Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a). Además, establece que dichas áreas y las condiciones en las que la especie podría vivir son mucho mayores a las áreas en las cuales el organismo realmente se desarrolla, lo cual es causado por los efectos en las interacciones entre las especies coexistentes (Chase & Leibold, 2003).

En una visión histórica del concepto de nicho, Pliscoff & Fuentes-Castillo (2011a) destacan que, desde finales de la década del '70, se comienzan a desarrollar los primeros modelos teóricos que buscaban definir el término de nicho de acuerdo a su distribución espacial, pasando en la década de los '80 a la generación de las primeras aproximaciones predictivas a los diferentes niveles de organización, y en la década de los '90, con la masiva utilización de los sistemas de información geográfica (SIG) – que permiten la utilización de grandes bases de datos –, se descubren nuevas herramientas para proyectar en el espacio ecológico y geográfico los modelos estadísticos de nicho.

2.1.3. Nicho fundamental y nicho realizado.

Para Soberón (2007), la separación de nicho en dos clases principales es útil, y lo divide en la clase Grinnelliana la cual puede ser definida mediante variables fundamentales no interactivas (escenopoéticas) y condiciones ambientales a escalas amplias, las que son relevantes a la hora de entender la escala aproximada de las propiedades ecológicas y geográficas de la especie, y la clase Eltoniana, la cual se concentra en las interacciones bióticas y en la dinámica de los recursos/consumidores (o variables bionómicas) que pueden medirse principalmente a escala local, siendo la clase Grinnelliana la que se adapta mejor a la baja resolución espacial y cuyas variables (como la temperatura media, precipitación, radiación solar, etc) son más fáciles de conseguir, mientras que en la clase Eltoniana resulta más fácil de medir en altas resoluciones espaciales que son características de los estudios de campo de casos específicos.

Por su parte, lo postulado por Hutchinson mezcla los postulados de ambos autores y, con ideas propias, propone la división de nicho ecológico en *nicho fundamental* y *nicho realizado*.

El nicho fundamental, es entendido como el conjunto de las condiciones abióticas (temperatura, humedad, pH y altitud) que permiten que la especie exista y que la población de la especie tenga tasas de crecimiento neutras o positivas en ausencia de competencia, depredación o enfermedades (Peterson *et al*, 2011; Milesi & Lopez de Casenave, 2005; Eliosa, Nieto & Navarro, 2010; Soberón & Miller, 2009). Mientras que el nicho realizado se considera como el subconjunto del nicho fundamental, donde se identifica el espacio que la especie realmente utilizaría luego de considerar las condiciones bióticas, la interacción con otras especies (como competidores por los mismos recursos, depredación, etc.), enfermedades y la exclusión competitiva (Peterson *et al.*, 2011; Milesi & Lopez de Casenave, 2005; Eliosa, Nieto & Navarro, 2010; Guisan & Zimmermann, 2000; Soberón, 2010).

2.1.4. Diagrama BAM

Un diagrama que resulta útil a la hora de comprender la distribución geográfica y ambiental de las especies es el denominado diagrama BAM, llamado así dado que comprende la

interacción entre condiciones bióticas (B), abióticas (A) y movimiento (M) en un espacio geográfico (Peterson & Soberón, 2012; Soberón & Nakamura, 2009).

El diagrama cuenta con tres áreas (ver figura n°2), en donde: (1) “A” representa las regiones del espacio geográfico donde las condiciones escenopeicas y los recursos existentes permiten que las tasas de crecimiento sean positivas o, en otras palabras, donde ocurre el nicho fundamental; (2) “B” representa las regiones geográficas donde las condiciones bióticas son favorables para la presencia y existencia de la especie; y (3) “M” corresponde a las regiones geográficas que han sido accesibles a la especie, sin barreras de dispersión o colonización, en un lapso de tiempo determinado (Soberón & Nakamura, 2009; Peterson *et al.*, 2011). Por su parte, “ G_A ” representa el área abióticamente adecuada, “ G_0 ” es la región que posee tanto los factores abióticos como bióticos y que es accesible para la especie, equivalente al área de distribución geográfica de la especie, y “ G_1 ” es el área de distribución que puede ser invadida o nicho realizado; finalmente, los círculos negros representan la presencia de la especie y los círculos blancos, las ausencias. (Peterson *et al.*, 2011; Soberón, 2005).

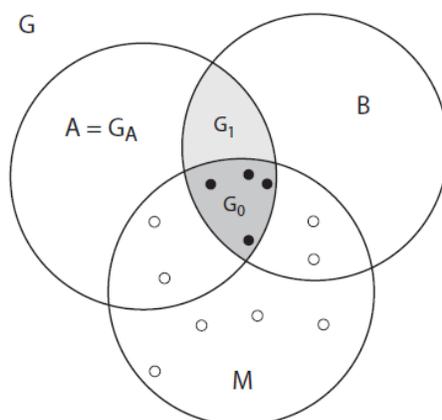


Figura n° 2. Diagrama BAM. Fuente: Peterson *et al.*, 2011. Ecological niches and geographic distributions

Por su parte, Peterson & Soberón (2012) plantean una nueva configuración del diagrama BAM (ver figura n°3), la cual puede ser más relevante para problemas geográficos generales sobre la distribución de especies, en donde la variable biótica, la cual puede ser difusa y no limitante, puede manifestarse en resoluciones espaciales tan finas para localizarse dentro de fenómenos de resolución gruesa, los cuales son el foco de gran parte de los modelos de distribución (Soberón, 2007). Las regiones A y M representan las condiciones abióticas necesarias para que la especie sobreviva y crezca (A) y el espacio geográfico que ha sido accesible a la especie durante un período de tiempo relevante (M), siendo la intersección entre ambas, la zona ocupada por la especie (G_0); la zona G_1 es la que posee las condiciones ambientales adecuadas pero que no ha sido explorada por la especie y que se encuentra dentro de la región A, mientras que los círculos blancos son los datos de presencia, los círculos

negros las ausencias de la especie debido a que el entorno no es el adecuado, los cuadrados negros representan la ausencia dada la falta de capacidad de dispersión y los triángulos son las ausencias debido a condiciones incorrectas y dispersión limitada (Peterson & Soberón, 2012).

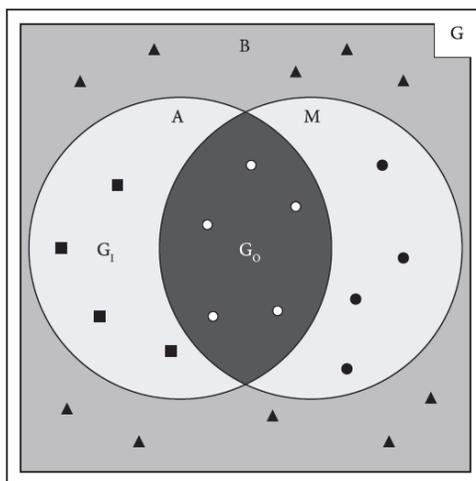


Figura nº 3. Diagrama BAM. Fuente: Peterson & Soberón, 2012. Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right

2.2. Modelos de distribución de especies

2.2.1. Primeras aproximaciones

La pregunta acerca de cómo se distribuyen tanto las plantas como los animales en la superficie terrestre, ha llevado a que durante décadas los humanos observen y registren esta relación entre las especies y su hábitat (Guisan & Thuiller, 2005; Elith & Leathwick, 2009). Estos registros, sumado a los nuevos avances en el desarrollo de los sistemas de información geográfica (SIG) y al desarrollo de técnicas de estadísticas, han ampliado la gama de herramientas disponibles para el análisis de los patrones espaciales de presencia y ausencia de especies en un espacio geográfico, lo que llevó al desarrollo de modelos que predicen la distribución de las especies (Elith & Leathwick, 2009; Romero & Ramírez-Bautista, 2016; Mateo, Felícimo & Muñoz, 2011).

En cuanto a la definición de los modelos, existen diversas opiniones en función de su interpretación. En la década de los '90, dos términos fueron usados para referirse a estas relaciones entre la especie y su entorno y sus distribuciones geográficas: los modelos de distribución de especies (MDE en español y SDM de acuerdo a sus siglas en inglés) y los modelos de nicho ecológico (MNE en español y ENM según las siglas en inglés).

Los MDE relacionan las observaciones de campo con las variables ambientales predictivas, mientras que los MNE incluyen la estimación del potencial invasor o la evaluación en

cambios ambientales sobre el potencial distributivo de la especie y los datos de presencia, presencia-ausencia y/o de abundancia, o cualquier acercamiento hacia estimaciones explícitas del nicho fundamental (Peterson & Soberón, 2012; Iloldi & Escalante, 2008). Y si bien, existen otras denominaciones como “modelos de idoneidad” o “modelos de hábitat potencial”, los criterios para establecer una definición se están unificando y el “modelo de distribución de especies” termina siendo el más utilizado (Mateo, Felícimo & Muñoz, 2011).

Las especies se distribuyen tanto en dimensiones geográficas como ambientales, y ambas deben ser capturadas e interpretadas en una terminología adecuada (Peterson & Soberón, 2012). De acuerdo a esto, los Modelos de Distribución de Especies (MDE) son una representación cartográfica en la cual se detallan las predicciones sobre el espacio o hábitat ideal para que una especie se desarrolle, de acuerdo a datos de presencia – información geográfica y/o factores medioambientales (Quevedo et al., 2015; Mateo, Felícimo & Muñoz, 2011; Elith & Graham, 2009). Y es esta capacidad predictiva la que ha llevado a que sea una de las áreas con mayor desarrollo dentro de la biogeografía de la conservación, dado que permite la proyección del espacio geográfico-ecológico en el pasado y en el futuro (Plissock & Fuentes-Castillo, 2011a).

2.1.2. Los pasos a seguir para modelar.

Los modelos de distribución, se generan a partir de dos fuentes de información: los datos de presencia o ausencia de las especies y las variables que describen el espacio ambiental donde se distribuirá geográficamente, siendo los datos de presencia simples observaciones de presencia, de ausencia o abundancia basados en muestreo de campo, o bien observaciones obtenidas de forma oportuna – como colecciones de herbarios o museos de historia natural – , mientras que los factores ambientales pueden ejercer influencias tanto directas como indirectas sobre la especie y los cuales son elegidos para reflejar tres tipos de influencia: (1) factores limitantes o reguladores – como la Temperatura o composición del suelo –; (2) perturbaciones que afecten los sistemas ambientales, ya sea de forma natural o inducida por factores externos como la acción antrópica; y (3) los recursos, tales como los compuestos que pueden ser asimilados por el organismo, siendo esta relación entre la especie y el entorno las que permiten que se desarrollen diferentes patrones espaciales (Plissock & Fuentes-Castillo, 2011a; Guisan & Thuiller, 2005).

A su vez, se deben considerar otros elementos que se suman a los datos anteriormente descritos:

- i. La teoría y datos, en el cual se define el modelo conceptual evaluando los registros disponibles y faltantes, así como la relevancia de los predictores ambientales para la especie indicada y la escala dada, una estrategia apropiada para la recolección de nuevos datos o la complementación de los conjuntos que ya existen, más la elección de la resolución espacial a utilizar, y
- ii. Posibilidades de modelización, donde se identifica el (los) método(s) más adecuado(s) para modelar las variables y las técnicas estadísticas necesarias para la precisión predictiva del modelo escogido (Guisan & Thuiller, 2005).

Aunque dada la dificultad para elegir ciertos parámetros al inicio del estudio, como la resolución adecuada o la extensión geográfica e incluso la decisión respecto a la modelización en ambientes tanto de invierno como de verano de forma separada, hace que, en la práctica, la elección de los parámetros antes descritos sea modificado o bien no considerado al inicio del estudio (Guisan & Thuiller, 2005).

La construcción de un modelo de distribución sigue una serie de pasos, los cuales presentan una gama de diferentes alternativas de aplicación y ejecución que afectarán el resultado final del modelo: (i) conceptualización, (ii) preparación de los datos, (iii) ajuste del modelo, (iv) la evaluación del modelo, (v) predicciones espaciales, y (vi) la evaluación de la aplicabilidad del modelo (ver figura nº4) (Mateo, Felícimo & Muñoz, 2011; Guisan & Thuiller, 2005).

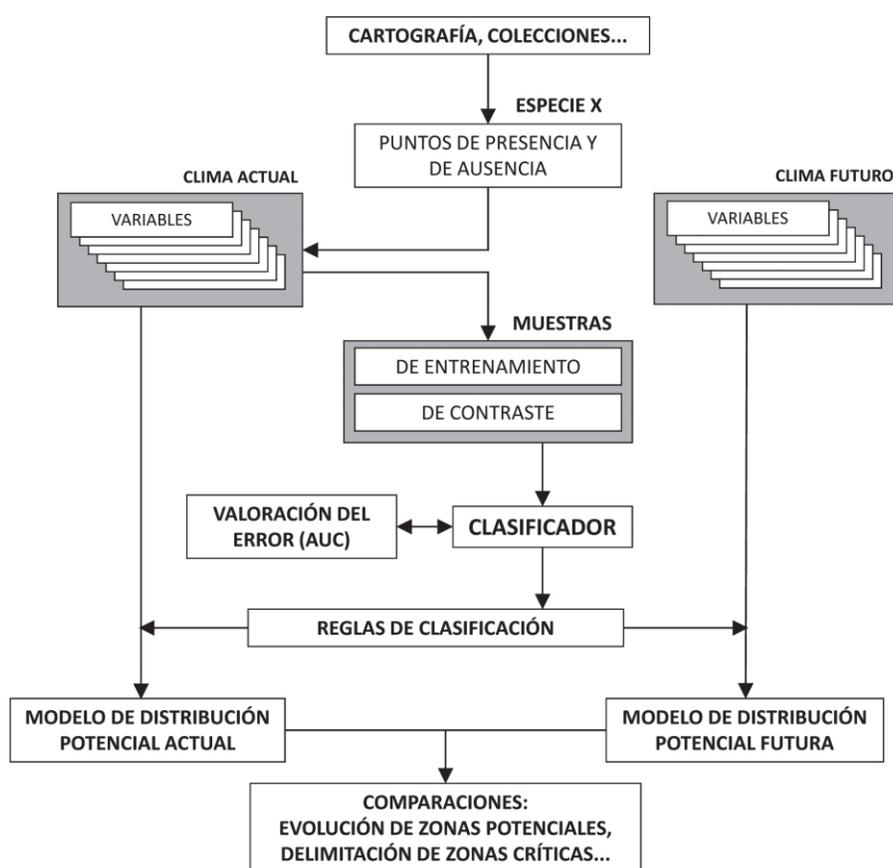


Figura nº 4. Esquema de flujo de trabajo para la realización y validación de modelos de distribución de especies. Fuente: Mateo, Felícimo & Muñoz, 2011. Modelos de distribución de especies: una revisión sintética. Revista chilena de Historia Natural, p. 219

2.1.3. Técnicas de modelación.

Los modelos de distribución corresponden a aproximaciones de tipo estadísticos que utilizan datos observados de la distribución de la especie para inferir, a través de esta información,

las necesidades propias de la especie y así poder asignar las distribuciones potenciales que pueda tener (Bradie & Leung, 2016). Estos modelos pueden generarse con cualquier clasificador estadístico coherente y apropiado al tipo de variable a utilizar, siendo dicotómico cuando se tienen datos de presencia/ausencia, y continuo cuando se tienen datos de abundancia, resultando en una combinación de los datos de presencia y ausencia y las variables ambientales (Mateo, Felícimo & Muñoz, 2011; Mateo, Felícimo & Muñoz, 2012).

Elith *et al.* (2006) son los principales referentes en cuanto a distinguir las diferentes técnicas de modelación, diferenciándolas en dos grandes grupos: aquellos que utilizan sólo datos de presencia, y aquellos que caracterizan el entorno como muestra. En este primer grupo, incluyen un método de estilo envolvente (BIOCLIM) y dos métodos basados en la distancia (DOMAIN y LIVES), mientras que, en el segundo grupo, incluyen los modelos lineales generalizados (GLM) y los modelos aditivos generalizados (GAM) (Elith *et al.*, 2006).

Por su parte, Plischoff & Fuentes-Castillo (2011a), agrupan las diferentes técnicas en cuatro grupos: los modelos estadísticos de regresiones, modelos aditivos generalizados, métodos de clasificación, los métodos de “sobre” y los algoritmos específicos para generar modelos de distribución, añadiendo un último grupo extra denominado “ensambles de técnicas”.

(i) Modelos estadísticos de regresión: son de los modelos más utilizados dada su fuerte base estadística que describe la relación entre las variables descriptivas y la presencia conocida de las especies y ecosistemas, pudiendo modelar de forma realista dichas relaciones ecológicas, siendo los Modelos Lineales Generalizados (GLM) y los Modelos Aditivos Generalizados (GAM) los que se encuentran en esta categoría (Plischoff & Fuentes-Castillo, 2011a; Elith *et al.*, 2006). Los GAM se usan comúnmente para implementar los “non-parametric smoothers” y gracias a su mayor flexibilidad, son más capaces que los GML de modelar formas de respuesta ecológica complejas, siendo los GML aquellos que se ajustan a términos paramétricos, siendo una combinación de términos lineales, cuadráticos y/o cúbicos (Elith *et al.*, 2006)

(ii) Métodos de clasificación: entendido como las clasificaciones basadas en reglas, a cada combinación de variables predictivas las cuales generan el modelo de distribución, se le asigna una clase. Y si bien son consideradas como las con mejores resultados a la hora de discriminar la importancia de las variables, la caracterización del conjunto de reglas que define el modelo final resulta muy compleja y, por ende, difícil de interpretar (Plischoff & Fuentes-Castillo, 2011a). En esta categoría, se encuentran los Random Forest (RF) y los Boosted Regression Trees (BRT)

(iii) Métodos “de sobre”: basado en el establecimiento de combinaciones de rangos de valores mínimos y valores máximos entre las variables utilizadas para la definición de nicho, en donde se define un espacio en el cual se da la combinación de valores deseada en el espacio de n-dimensiones de las variables (Plischoff & Fuentes-Castillo, 2011a). Es uno de los enfoques más antiguos de modelación y ha sido abandonado a lo largo del tiempo pues ofrece una definición poco flexible del espacio ambiental (Plischoff & Fuentes-Castillo, 2011a). Dentro de este grupo, se encuentra BIOCLIM y ENFA; BIOCLIM se considera dentro de las técnicas descriptivas que sólo requieren los datos de presencia y utiliza una

envoltura climática para encontrar una regla única que identifique todas las áreas con un clima similar al que se encuentra en la localidad de la especie, vale decir, encuentra el intervalo climático en el que se encuentran los puntos para cada variable climática involucrada en el análisis (Mateo, Felícimo & Muñoz, 2011; Mateo, Felícimo & Muñoz, 2012; Illoldi & Escalante, 2008; Elith *et al.*, 2006).

(iv) Algoritmos específicos para generar modelos de distribución: este tipo de técnicas basadas en algoritmos específicos ha tomado fuerza en los últimos años, lo que se evidencia a través del gran número de artículos y publicaciones asociados a modelaciones de este tipo, gracias a la facilidad de aplicación y la rapidez con la que se obtienen resultados (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a), encontrando aquí los modelos MaxEnt y GARP.

El modelo de máxima entropía o MaxEnt, utiliza una aproximación mecanicista para realizar predicciones a partir de la información incompleta, donde los datos de ausencia no son necesarios, ya que el programa se encarga de generarlos (*background*) (Labra, 2017), y de acuerdo a esto, estima la distribución más uniforme o de mayor entropía en el área de estudio, donde se pesa cada característica (variable ambiental) al multiplicarla por una constante, la cual se divide posteriormente para asegurar valores entre 0 y 1 (Mateo, Felícimo & Muñoz, 2011; Illoldi & Escalante, 2008; Elith *et al.*, 2006). Por su parte, el Genetic Algorithm for Rule-set Prediction o GARP, utiliza un algoritmo genético para seleccionar el conjunto de reglas que mejor predice la distribución de la especie a través de la búsqueda de asociaciones entre variables ambientales y los datos de ocurrencia de las especies, lo cual es contrastado con las características ambientales del área de estudio (Elith *et al.*, 2006; Illoldi & Escalante, 2008).

(v) Ensamble de técnicas: el objetivo es disminuir las incertidumbres asociadas a los modelos de distribución, especialmente en la validez estadística de los resultados (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a). BIOMOD, por ejemplo, es una herramienta programada específicamente para generar modelos de consenso que permite la aplicación de nueve técnicas de modelación a la vez y el cual es utilizado principalmente para analizar proyecciones de la distribución actual bajo escenarios de cambio climático (Mateo, Felícimo & Muñoz, 2012; Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a).

2.1.4. Modelos de distribución de aves, ejemplos.

Las aplicaciones de los modelos de distribución de especies son numerosas y, entre los campos de aplicación más evidentes, se destacan aquellos relacionados con la riqueza de especies y su distribución, teniendo publicaciones en casi cada grupo, desde angiospermas, anfibios, hongos, primates, briófitos, aves, peces o cetáceos, por nombrar algunos (Mateo, Felícimo & Muñoz, 2011).

Por su parte, cada método de modelización ofrece resultados muy diferentes entre sí, aunque, en ocasiones, los resultados contradictorios que se puedan producir se deben a artefactos y sesgos que no son considerados dentro del análisis propio. Un ejemplo de esto es lo que sucede en la utilización de la técnica BIOCLIM en un juego de datos de aves de Canadá, el

cual tuvo buenos resultados dado que no se consideró el enorme sesgo del muestreo de datos (Mateo, Felícimo & Muñoz, 2011). Por ello, no se puede generalizar a la hora de decir que un modelo es mejor que el otro, ya que los resultados pueden variar entre uno y otro estudio, por lo que siempre es recomendable que se apliquen diferentes métodos y así decidir cuál es el que entrega mejores resultados (Mateo, Felícimo & Muñoz, 2011).

A continuación, se realiza una breve revisión bibliográfica de diferentes modelos de distribución aplicados a aves, destacando específicamente la técnica de modelación y las variables utilizadas en cada caso.

Licon-Vera & Ornelas (2014) en su estudio sobre *Doricha eliza* (colibrí de Elisa), utilizaron seis de las diecinueve variables bioclimáticas disponibles en WorldClim, siendo: BIO1 (temperatura media anual), BIO2 (rango medio diurno), BIO3 (isoterma), BIO4 (temperatura estacional), BIO12 (precipitación anual) y BIO14 (precipitación media del mes más seco), y donde MaxEnt fue el software escogido dado que proporciona un rendimiento robusto con muestras pequeñas (distribución restringida) de datos de presencia única, siendo ajustado para utilizar aleatoriamente el 70% de los valores para entrenamiento y el 30% restante para probar el modelo.

Jasso (2008), en su tesis de postgrado “Distribución potencial de las aves del altiplano potosino”, si bien también trabaja con las variables bioclimáticas de WorldClim, la autora utiliza las 19 variables en una resolución de 1km (BIO1 – BIO19) dado que trabaja con un número mayor de especies (81 especies de aves en total), y utiliza el software MaxEnt ya que “*presenta menor sobrepredicción (Phillips et al., 2006; Benito de Pando y Peñas de Giles, 2007) y porque para los datos recabados, MaxEnt demostró mayor precisión en la predicción de los modelos de distribución comparado con los modelos que se generaron con GARP*” (Jasso, 2008. p.19) y porque sólo requiere información sobre la presencia de especies.

Longoria (2001), en su tesis de postgrado “Distribución hipotética de especies de aves y de mamíferos con categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2001 registradas en el Estado de Durango”, realiza un estudio de trece especies, siendo siete de ellas aves que se encuentran en alguna categoría de riesgo y que presentan registros de presencia en el estado de Durango, México. Las especies corresponden a: *Accipiter striatus* (Gavilán pecho rufo), *Cinclus mexicanus* (Mirló acuático americano), *Cyrtonyx montezumae* (Codorniz Moctezuma), *Euptilotis neoxenus* (Trogon orejón), *Meleagris gallopavo* (Guajolote), *Myadestes townsendi* (Clarín norteño), *Rhynchopsitta pachyrhyncha* (Cotorra serrana) y las capas de variables ambientales utilizadas, se elaboraron a partir de las capas creadas para el ordenamiento ecológico del estado de Durango, siendo las capas de: (i) Temperatura; (ii) Precipitación; (iii) Modelo digital de elevación, del cual se obtuvieron además la capa de altitud, así como las pendientes en porcentajes; (iv) Topoformas (9 categorías); (v) Vegetación y uso de suelo (29 categorías); (vi) Asentamientos humanos, cuerpos de agua, ríos y áreas forestales maderables; (vii) Disección vertical de relieve (13 categorías) entre información sobre la energía del relieve, los tipos morfométricos del relieve, así como también las cuencas hidrográficas y la red de drenaje; (viii) Índice de presión de uso

circundante de la vegetación 2000 (9 categorías), el cual representa el grado de presión al que se somete cada comunidad vegetal según el tipo de asociación vegetal o uso de suelo que la circunda, donde el objetivo de esta capa es revelar el grado de afectación al equilibrio ecológico de cada comunidad vegetal; y (ix) Modificación de la cobertura vegetal 2000 (7 categorías), donde se muestra el resultado de la evaluación de la cobertura vegetal de México relativa al estado de conservación o equilibrio ecológico que guardan las asociaciones vegetales.

Al igual que en los dos casos anteriores, se utilizó el programa MaxEnt para generar los modelos, donde a cada una de las variables antes mencionadas y, tras la aplicación de los algoritmos seleccionados por el número de muestra (lineales o cuadráticos), se convierten en restricciones para la especie, las cuales permiten que MaxEnt elija la distribución con mayor entropía a través de la asignación por parte del software de “peso” a cada una de las variables de acuerdo a los datos obtenidos de los sitios georreferenciados, creando combinaciones entre todas las variables hasta encontrar las distribuciones de mayor entropía. La excepción del caso fueron las especies *Choeronycteris mexicana*, *Taxidea taxus*, *Cinclus mexicanus* y *Cyrtonyx montezumae*, a las cuales no se le otorgó un porcentaje para la obtención de pseudo-ausencias ya que, al utilizar un porcentaje determinado, la muestra, de por sí pequeña, resultaría de un tamaño aún menor.

Carrascal *et al.* (2015) testean la abundancia regional y local de 21 especies de aves terrestres en La Palma, archipiélago de las Canarias, en donde el censo de aves para registrar los datos de presencia/ausencia y los datos de abundancia, se llevaron a cabo durante la temporada de cría (abril del 2007). Por su parte, los modelos fueron construidos con predictores ambientales cuyo desempeño en la configuración de distribuciones y/o abundancias de aves ha sido demostrado, tales como la estructura de la vegetación, productividad primaria, la topografía y el impacto humano, identificando para las categorías de estructura vegetal diez grandes clases: campos volcánicos (‘malpaises’), pastizales, matorrales *Euphorbia* (*Euphorbia shrublands*), matorrales, brezales altos (‘fayal-brezal’), bosques siempreverde (‘laurisilva’), bosques de pino (*Pinus canariensis*), pendientes rocosas con plantas dispersas (‘cerrillar’), hábitats agrícolas y áreas urbanas.

A diferencia de los casos anteriormente mencionados, en este estudio se utilizaron dos técnicas de modelación: BTC (boosted classification trees), utilizado para evaluar la probabilidad de ocurrencia (presencia-1/ausencia-0) y MaxEnt, el cual genera salidas de idoneidad a partir de datos de presencia y un conjunto de datos de ausencias de fondo, las cuales son seleccionadas al azar en el área de estudio a través del enfoque de máxima entropía, lo cual fue comparado con la información entregada por BTC.

Tinocco *et al.* (2009) en su investigación sobre el Metalura de Azuay (*Metallura baroni*), un colibrí endémico presente en la zona oeste de la Cordillera de los Andes, en Azuay y Cañar, zona sur de Ecuador, y clasificada como una especie “En peligro”, utilizaron ocho capas ambientales para modelar, incluyendo la temperatura media anual, temperatura estacional, temperatura media del trimestre más frío, la temperatura media del trimestre más cálido, la

precipitación anual, precipitación estacional, la precipitación del trimestre más húmedo y la precipitación del trimestre más seco, las cuales fueron procesadas en el software MaxEnt.

Fierro (2012), en sus modelos respectivos para dos especies amenazadas: Pava del Baudó y Paragüero del Pacífico, utilizó, al igual que autores anteriores, las variables bioclimáticas del sitio WorldClim: para el Paragüero del Pacífico se utilizaron las variables BIO3 (Isotermalidad), BIO4 (Temperatura estacional), BIO7 (Rango de temperatura anual), BIO14 (Precipitación del mes más seco), BIO15 (Precipitación estacional), BIO18 (Precipitación del trimestre más cálido) y BIO19 (Precipitación del trimestre más frío), y para la Pava de Baudó se utilizaron las variables BIO2 (Rango medio diario), BIO3 (Isotermalidad), BIO4 (Temperatura estacional), BIO7 (Rango de temperatura anual), BIO15 (Precipitación estacional) y BIO19 (Precipitación del trimestre más frío). El modelo de elevación es producido a través de la misma plataforma y modificado con el software ArcGis, del cual se obtienen además las capas de Pendiente (utilizada sólo para la Pava de Baudó) y Aspecto, constituyendo de esta forma las variables topográficas, mientras que, en las variables antropogénicas, se consideraron los centros poblados y las vías principales. Por otro lado, la información del uso de suelo fue adquirida desde Global Land Cover Facility, desde donde se identificaron 14 clases de uso de suelo, de los cuales, sólo utilizaron los usos denominados como bosque de las categorías dos, cinco y seis. Del total de registros, un 70% de ellos fueron utilizados como datos de entrenamiento y el 30% restante, como datos de validación en el software MaxEnt.

Plasencia & Escalona (2014), en su estudio de especies de la Península de Yucatán, se concentran en ocho especies de psitácidos: Perico de garganta oliva (*Aratinga nana*, A.na), Loro frente blanca (*Amazona albifrons*, A.al), Loro yucateco (*Amazona xantholora*, A.xa), Loro frente roja (*Amazona autumnalis*, A.au), Loro cabeza amarilla (*Amazona oratrix*, A.or), Loro harinoso (*Amazona farinosa*, A.fa), Loro corona blanca (*Pionus senilis*, P.se) y Loro marrón encapuchado (*Pyrrhula haematotis*, P.ha).

Las variables ambientales, al contrario de los casos anteriores que utilizaban la información de WorldClim, se obtuvieron a través de la interpolación entre los datos de Temperatura y precipitación de Cuero-Robayo *et al.* (2013) y tres capas topográficas obtenidas del proyecto Hydro-1k, las cuales fueron re-muestreadas en ArcView 3.2, y en donde se consideró el hecho que las fluctuaciones producidas en los meses más extremos, pueden limitar la reproducción de los loros, debido a un incremento en la depredación de nidos como por la disminución en la disponibilidad de alimentos. Finalmente, se trabajó con ocho capas de variables bioclimáticas: Temperatura máxima promedio del período más cálido, Temperatura promedio del trimestre más seco, Temperatura promedio del trimestre más cálido, Temperatura promedio del trimestre más frío, Precipitación del trimestre más lluvioso, Precipitación del trimestre más seco, Precipitación del trimestre más cálido, Precipitación del trimestre más frío. Sumado a esto, se consideraron tres capas topográficas: modelo digital de elevación (DEM) y la pendiente e índice topográfico de humedad.

Para la generación de los modelos, se utilizó MaxEnt, dado que “*se considera como uno de los de mejor desempeño, y que tiene la ventaja de que se pueden obtener resultados*

relativamente adecuados con tamaños de muestra pequeños (Hernández, Graham, Master & Albert, 2006; Elith et al, 2011)” (Plasencia & Escalona, 2014. p.1511).

Un último ejemplo (presentado en esta memoria) de modelación con el programa MaxEnt, es el presentado por Plasencia, Escalona & Esparza (2014), los cuales realizan modelos de distribución de dos especies de psitácidos – el cual es uno de los grupos de aves más amenazados en México dada la pérdida de hábitat y el tráfico de mascotas –, que son el Loro yucatero (*A. xantholora*) y el Loro cabeza amarilla (*A. oratrix*). Los registros de ambas especies, obtenidos desde diferentes fuentes de información, llegó a un total de 147 registros de *A. xantholora* y 9 de *A. oratrix*, mientras que las capas bioclimáticas fueron obtenidas desde WorldClim, utilizando 8 de las 19 capas, las cuales fueron: BIO5 (temperatura máxima promedio del período más cálido), BIO9 (temperatura promedio del trimestre más seco), BIO10 (temperatura promedio del trimestre más cálido), BIO11 (temperatura promedio del trimestre más frío), BIO16 (precipitación del trimestre más lluvioso), BIO17 (precipitación del trimestre más seco), BIO18 (precipitación del trimestre más cálido) y BIO19 (precipitación del trimestre más frío). Mientras que la altitud, pendiente y el índice topográfico, se utilizaron como variables predictoras indirectas. La modelación, se realizó manteniendo los parámetros predeterminados en MaxEnt, donde un 30% de los registros de *A. xantholora* fueron utilizados para validar el modelo, mientras el 70% restante, fue utilizado para genera el modelo. En el caso de *A. oratrix*, que contaba con un menor número de registros, todos fueron utilizados para la generación del modelo.

2.3. Ecología de la conservación

2.3.1. El concepto de biodiversidad

El término biodiversidad, es una mezcla de la frase Diversidad Biológica y el cual fue acuñado en el año 1985 por Walter G. Rosen para el foro nacional de la Biodiversidad, realizado en Washington en el año 1986, y el cual fue editado en el año 1988 por el biólogo E. O. Wilson (Maclaurin & Sterelny, 2008). Es considerado un término multifacético y multidimensional que se refiere al conjunto de todas las formas de vida del planeta, vale decir, a la variedad y variabilidad de todos los organismos y los complejos ecológicos en los cuales se encuentran, así como a las relaciones originadas entre ellos, en diferentes escalas espaciales o de organización, donde cada escala posee tres componentes diferentes: composición, estructura y función (Lazo et al, 2008; CONAMA, 2009; Martínez, s.f). Más específica aún, es la definición predispuesta en el artículo n°2 de la ley 19.300 sobre las Bases Generales del Medio Ambiente, donde es definido como “*la variabilidad de los organismos vivos, que forman parte de todos los ecosistemas terrestres y acuáticos. Incluye la diversidad dentro de una misma especie, entre especies y entre ecosistemas*” (CONAMA, 2009. p.10).

La biodiversidad, por tanto, es el resultado de procesos tanto ecológicos como evolutivos, que se ve representado en diferentes niveles u organización jerárquica, vale decir, de individuos, poblaciones y especies (Martínez, s.f.; Halffter, 1994). Aunque la riqueza de

especies no es lo único a considerar dentro de la biodiversidad, sino que también han de considerarse el nivel de dominio y rareza que tienen, pues mientras mayor es el grado de dominio de unas y mayor el nivel de rarezas de otras, menor es la biodiversidad de una comunidad y diferente será el impacto que sufran si se fragmenta el hábitat al cual pertenecen (Halffter, 1994).

Otro punto a considerar es la escala o nivel al cual se estudia la biodiversidad, pues si bien puede ser a un nivel global, ecológico, geográfico o genético, los que la componen en sí, son tres niveles (ver figura nº5): diversidad de ecosistemas; diversidad de especies; y diversidad genética (Martínez, s.f.; Lazo *et al.*, 2008)

- (i) Diversidad de ecosistemas o comunidades, se refiere a la forma de organización y conjunto de especies en un mismo hábitat y que conforman la comunidad cuyas relaciones entre sí resultan diferentes a las especies situadas en otro lugar, así como también al grado de contigüidad de hábitats diferentes en el espacio (Martínez, s.f.; Lazo *et al.*, 2008; Halffter, 1994)
- (ii) Diversidad de especies hace referencia a la riqueza o número de especies existentes en una comunidad o área geográfica, así como a las relaciones de abundancia presente (Lazo *et al.*, 2008)
- (iii) Diversidad genética se refiere a la variación de los genomas que posee una especie, tanto dentro de una población como entre poblaciones, la cual depende de la historia evolutiva de la especie, siendo ésta una de las características de mayor importancia ya que, sin variación genética, la transformación de la especie u evolución a través de la selección no sería posible (Lazo *et al.*, 2008; Martínez, s.f.; Halffter, 1994)

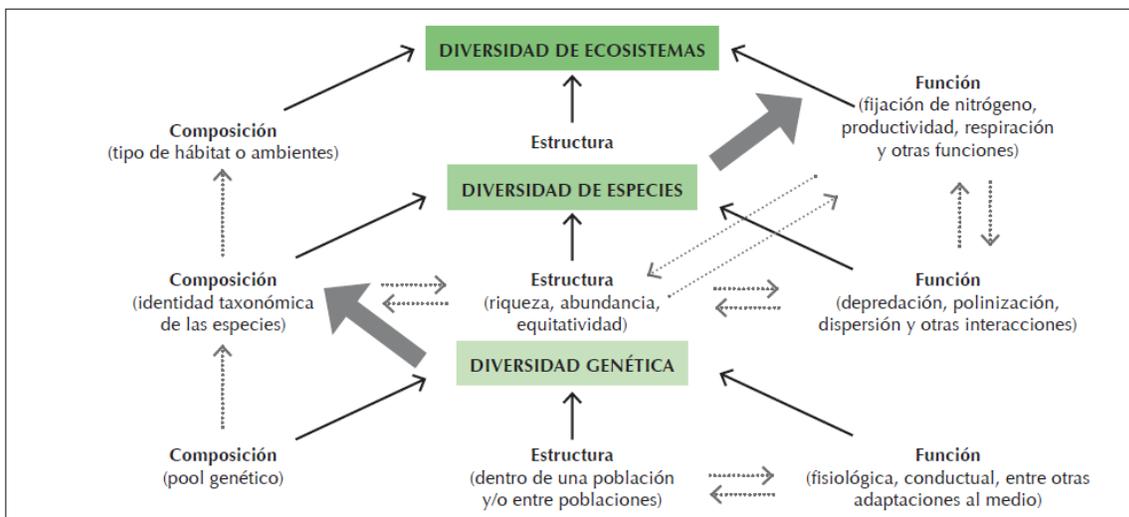


Figura nº 5. Representación de los tres niveles de la biodiversidad y sus relaciones directas e indirectas. Fuente: Lazo *et al.*, 2008

2.3.2. La extinción de las especies y la acción de la conservación.

Los patrones de distribución de las especies suelen ser discontinuos gracias a la variedad de condiciones ambientales presentes y que definen su hábitat; esta discontinuidad puede ser causada por fenómenos naturales tales como inundaciones, incendios, huracanes, etc., como también por acción directa del ser humano (Martínez, s.f.; Santos & Tellería, 2006).

La mayor parte de las extinciones es atribuida a causas meramente humanas, dentro de las cuales se consideran: la agricultura y parcelación, la explotación forestal, el desarrollo comercial y residencial, el aumento demográfico y/o demanda de recursos, generando tales modificaciones en el territorio, que actualmente el planeta se encuentre dentro de la sexta gran crisis de la biodiversidad (Miller, Soulé & Terborgh, 2014; Santos & Tellería, 2006; Jorquera-Jaramillo *et al.*, 2012; Torres-Mura, Castro & Oliva, 2008).

Las acciones antrópicas, han sido agrupadas en tres factores claves: la modificación del hábitat, la introducción de especies exóticas y la sobreexplotación de especies (Miller, Soulé & Terborgh, 2014; Santos & Tellería, 2006; Jorquera-Jaramillo *et al.*, 2012; Torres-Mura, Castro & Oliva, 2008).

i. La modificación, destrucción y fragmentación del hábitat, es producido en parte por la expansión de las áreas urbanas, la cual es considerada una de las mayores causantes de la pérdida de biodiversidad tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, donde aproximadamente el 48% de la población mundial vive en áreas urbanas, lo cual produce que los hábitats nativos se vean reducidos y las especies nativas tiendan a verse segregadas por los espacios habitados por el hombre, ya que las “áreas verdes” son consideradas un lujo (Miller, 2005; Pauchard *et al.*, 2006). Pero también la explotación de recursos naturales, como la tala de bosques tropicales, trae como consecuencia que el territorio se fragmente y se produzcan las denominadas “islas” ecológicamente frágiles, las cuales además de reducir el espacio en que se desarrollan las especies (lo cual produce que especies de menor población se vuelvan más vulnerables a la llegada de depredadores y de enfermedades), puede llevar a la extinción en cadena, vale decir, que la pérdida de una especie produzca por defecto la extinción de otra y así sucesivamente (Leakey & Lewin, 1998; Martínez, s.f.). También producen un “efecto de borde”, donde las especies quedan en áreas vulnerables a efectos climáticos impredecibles como vientos o incendios, al ataque de depredadores y especies foráneas y también a la caza por parte del ser humano (Leakey & Lewin, 1998; Martínez, s.f.). Y, por último, también se ve afectada la capacidad de dispersión de los individuos dado el aumento de distancia entre los territorios fragmentados, lo que puede llevar a que se pierda con mayor rapidez la variabilidad genética de la especie, haciendo que su capacidad de responder a cambios en el territorio sea menor, volviéndose menos “flexible” evolutivamente hablando (Martínez, s.f.; Santos & Tellería, 2006)

ii. La introducción de especies exóticas, es considerado por algunos autores como la segunda causa de pérdida de biodiversidad y es el producto de la llegada de especies a zonas geográficas a las cuales no podrían haber accedido por cuenta propia, y en donde se adueñan del espacio, quitándole lugar a las especies nativas, alimentándose además de dichas especies propias del lugar y transmitiendo enfermedades, siendo esta última una de las mayores

amenazas (Torres-Mura, Castro & Oliva, 2008; Martínez, s.f.) Y si bien no todas las especies nuevas logran establecerse y sobrevivir, al menos el 1% de las introducciones resulta exitosa (Torres-Mura, Castro & Oliva, 2008).

iii. Si bien la explotación directa de las especies, como la caza, la pesca y recolección, se ha desarrollado desde el principio de los tiempos a través de métodos sencillos y equilibrados, actualmente la tasa de recolección es mucho mayor y los métodos son más modernos y letales, sobreexplotando y produciendo la desaparición de la especie, así como también la captura de especies para otros fines, como transformarlas en mascotas, lo cual se asocia directamente con el punto anterior de introducción de especies exóticas (Torres-Mura, Castro & Oliva, 2008; Leakey & Lewin, 1998; Martínez, s.f.).

En todos estos casos, hay que tener en claro que la extinción de una especie, es la desaparición definitiva de ésta, ya que no puede ser recuperada dado que se pierde el genoma y su función ecológica, lo que conlleva a que puedan desaparecer otras especies con las que coexistía – vale decir, una extinción en cadena –, lo que sumado a la “extinción de experiencia” donde la homogenización y reducción de la flora y fauna, sumado a la apatía del ser humano, produce que el interés por proteger y conservar la biodiversidad se vea en peligro (Torres-Mura, Castro & Oliva, 2008; Miller, 2005).

Parte de la distinción entre la extinción paleontológica versus la extinción producida por efecto del ser humano, llevó a que el movimiento por la conservación de la biodiversidad emergiera entre los ecólogos, y donde surgió la creencia de que la intervención del ser humano debía ser controlada dado el riesgo en que ponía a varias especies (Garson, Plutynski & Sarkar, 2016) y porque afectar de una forma continua e incluso irreversible a la diversidad de especies tanto de flora como de fauna, resultaría en la afectación del desarrollo y supervivencia de la sociedad misma, dado que se perderían tanto los beneficios económicos – recursos pesqueros, forestales, agropecuarios, agricultura, etc. – como de salud y bienestar en general (CONAMA, 2009).

La conservación de la biodiversidad, por tanto, surge como la respuesta para un uso sustentable de los recursos y la protección de éstos ante la explotación a la que sean sometidos, llegando a un equilibrio entre el entorno, el desarrollo de actividades productivas y la sociedad, que se traduce en un desarrollo sustentable que garantiza la conservación de la diversidad biológica (Mutia, 2009; CONAMA, 2009).

Pero existen investigadores que todavía difieren sobre el sentido y definición real de lo que conlleva la *conservación* como tal, donde algunos creen que se debería considerar la protección de la naturaleza por su propio bien y no centrarse en el beneficio hacia las personas, mientras que otros, creen que la aceptación de *uso sostenible* dentro de la conservación, es fundamental para distinguirla del concepto de preservación – el cual ellos consideran se focaliza en la protección de áreas silvestres solamente –, siendo que la conservación debería considerar todas las áreas sin distinción lo que, en resumen, lleva a que lograr una sola definición sobre conservación resulte algo complejo (Sandbrook, 2015).

Leader-Williams, Adams & Smith (2010) demuestran dicho problema al tomar una definición simple de conservación, la cual incluye “*acciones que mejoran directamente las oportunidades de que los hábitats y las especies persistan en la naturaleza*” (Leader-Williams, Adams & Smith, 2010. p.5). Y si bien esta definición da una idea general, deja fuera puntos importantes como por qué, qué, cómo y cuánto se debería conservar.

Sandbrook (2015), por su parte, propone una nueva definición que considera que son “*acciones destinadas a establecer, mejorar o mantener buenas relaciones con la naturaleza*” (Sandbrook, 2015. p.565) donde busca destacar el hecho que la conservación es una acción activa, en la cual se crean nuevas relaciones con la naturaleza y mantiene y refuerza las ya existentes y que no siempre serán exitosas en el tiempo, pero que se intenta que lleguen a serlo.

Las dificultades en la conservación, además de requerir estudios sobre cuál será el área a proteger, su extensión y otras consideraciones, se ve reflejada en el desconocimiento que se tiene sobre las especies en sí, donde si bien se han descrito un aproximado de 1,7 millones de especies, esta cifra alcanza a ser cerca del 10% del total de especies estimado en la superficie terrestre, dejando a la deriva y posible extinción a muchas otras especies que siguen siendo desconocidas para la humanidad, así como también en las políticas a adoptar, pues económicamente hablando, establecer un área protegida debe considerar diferentes costos, mientras que la conservación fuera de áreas protegidas puede tener una contribución menor a la conservación de la diversidad, pero sus costos de implementación y administración son mucho menores, sobre todo considerando que las áreas predispuestas para la conservación son a largo plazo y no de un plazo establecido, por lo que el presupuesto de mantención no es una inversión “de una sola vez”, sino que es una necesidad constante en la que se busca maximizar la biodiversidad conservada dado un presupuesto fijo para la mantención de las acciones de conservación (Pérez-Schultheiss, 2009; Leader-Williams, Adams & Smith, 2010).

Pero ¿vale la pena gastar tiempo, recursos y dinero en conservar, siendo que muchas veces queda la incertidumbre sobre si las políticas de conservación dan o no resultados concretos? Si bien falta mucho por proteger a todas las especies, Pimm *et al.* (2014) estiman que al menos un 20% más de extinciones se habrían producido si no existieran esfuerzos por conservar la biodiversidad, sobre todo teniendo en cuenta que un 12,9% del total de las áreas terrestres se encontraba bajo alguna medida de protección para el año 2009, mientras que cerca de un 2,3% de las áreas marinas se encuentran protegidas.

A nivel internacional, los esfuerzos por conservar se inician con fuerza a partir de la mitad del siglo XX, siendo la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (o UICN), creada en el año 1948, la red ambiental más grande y diversa, donde participan tanto Estados soberanos, agencias gubernamentales y organizaciones de la sociedad civil, y donde sus tareas principales se dividen en seis ámbitos: supervivencia de especies, derecho ambiental, áreas protegidas, políticas ambientales, sociales y económicas, gestión de ecosistemas y educación y comunicación (IUCN, s.f.). También es reconocida por su implementación de los Libros Rojos, en los cuales se categorizan las especies tanto de flora como de fauna

dependiendo del grado de amenaza que tengan, siendo esta modalidad de categorización una herramienta que lleva más de cuarenta años y que ha servido para comprender de forma más sencilla a las especies que se encuentran en riesgo para así generar las medidas de protección necesarias y adecuadas (Torres-Mura, Castro & Oliva, 2008).

A través de la UNESCO, en el año 1971 se unifica la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas o RAMSAR, la cual establece en su artículo 1 que se considera como humedal a *“las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”* (RAMSAR, 1994.p,1) y en donde los países integrantes deberán responsabilizarse por la conservación, gestión y uso racional de los humedales que se encuentren en la lista de humedales de importancia internacional y las especies de aves acuáticas migratorias (RAMSAR, 1994).

Por otro lado, en el año 1972, se lleva a cabo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente en Estocolmo, donde se ponen en la palestra la preocupación por la conservación de la diversidad biológica, algo que, al año siguiente, la UNEP declara como un hito prioritario a tratar, realizándose la Cumbre Mundial del Medio Ambiente en Río de Janeiro del año 1992, donde los países signatarios establecen su compromiso hacia la conservación y uso sustentable de los recursos a través del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD), cuyos objetivos principales son la conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de sus componentes y la distribución justa y equitativa de los beneficios, siendo éste el primer acuerdo global en abarcar este tema en particular (Mutia, 2009; Jorquera-Jaramillo *et al.*, 2012).

Por su parte, en el año 1963 entra en vigor el Convenio Internacional para la Protección de las Aves, cuyo principal objetivo es *“proteger a las aves en estado silvestre, considerando que, en el interés de la ciencia, la protección de la naturaleza y la economía de cada uno de los países, todas las aves deben, por principio, ser protegidas”* (Registro de Acuerdos Internacionales relativos al Medio Ambiente, 1993. p.11), lo cual se lleva a cabo de acuerdo a disposiciones tales como la protección de las aves en su temporada de reproducción, la prohibición de caza de aves con trampas, redes, cebo envenenado, entre otros en base a lo establecido por cada una de las partes y la lista generada por ellos donde establecen las aves que pueden capturarse y/o matarse de manera legítima, etc. (Registro de Acuerdos Internacionales relativos al Medio Ambiente, 1993.)

Finalmente, otra de las organizaciones presentes en la protección y conservación, es la WWF (World Wildlife Fund.), una organización independiente de conservación fundada en el año 1961, la cual distingue seis objetivos principales: los bosques, los océanos, la vida silvestre, los alimentos, el clima, la energía y el agua, los mercados, las finanzas y la gobernanza, siendo estos tres últimos las piezas claves dentro de los problemas ambientales (WWF, 2006). Para lograr dichos objetivos, centran sus esfuerzos en tres grupos: (i) a través de la conservación directa de la biodiversidad – que las especies no se extingan ni que los

ecosistemas se dañen a niveles irreversibles –; (ii) revirtiendo las amenazas directas – sobreexplotación de los recursos renovables –, como indirectas – el cambio climático o la contaminación –; y (iii) la creación de condiciones “favorables” a través de acciones políticas, dado que muchas veces las tomas de decisiones fallan en el marco político (WWF, 2006)

Otros ejemplos internacionales de conservación son la Convención del comercio internacional de especies amenazadas (CITES), la Junta Internacional de Recursos fitogenéticos, el Fondo mundial para la naturaleza, la Convención sobre la conservación de las especies migratorias de animales salvajes, el Convenio internacional para la regulación de la caza de ballenas, el programa de la UNESCO sobre el hombre y la biósfera, entre otros (Mutia, 2009).

2.3.3. La conservación en Chile

La pérdida de biodiversidad y la extinción de especies, ha sido producto de las modificaciones humanas, tanto del territorio como del medio ambiente en general, lo cual ha tenido consecuencias negativas dado que altera la composición, estructura y dinámica de la biota y que resulta en uno de los desafíos más grandes en cuanto a la conservación de la biodiversidad, el cual depende directamente en la instauración de políticas adecuadas y los marcos regulatorios, los cuales son responsables de que se logre o no una adecuada conservación de la biodiversidad (Simonetti, 2011; Pauchard & Villarroel, 2002; Armesto, Smith-Ramírez & Rozzi, 2001).

En el caso de Chile, y a pesar de los acuerdos internacionales a los que ha adscrito, la pérdida de biodiversidad ha sido reconocida como un problema medioambiental de gran preocupación dada la variedad de ecosistemas únicos presentes a lo largo del territorio y del gran endemismo que posee, donde aparentemente las políticas medioambientales solo se centran en la contaminación del aire y el cambio climático, dejando un poco de lado la conservación y protección de la biodiversidad (Jorquera-Jaramillo *et al.*, 2012; Pauchard & Villarroel, 2002; Simonetti, 2011). En particular, se entiende la legislación ambiental chilena como fragmentaria e inorgánica, que responde a medidas casi de emergencia y donde el cuerpo legal para la protección de la biodiversidad es disperso, añejo, casi inexistente y donde muchas veces el propio alcance de la aplicación de las medidas instauradas se desconoce y está revestido de incertidumbre respecto, por ejemplo, a la vigencia que tendrá (Jorquera-Jaramillo *et al.*, 2012; Pellet *et al.*, 2005).

2.3.3.1. Formas de conservación en Chile

El concepto de conservación en Chile ha evolucionado tanto en su institucionalidad como en la forma de pensar el concepto de conservación, desde entenderlo como la preservación del entorno o medio ambiente a considerar también el uso sabio de los recursos naturales que benefician al ser humano, vale decir, el desarrollo sustentable (Jorquera-Jaramillo *et al.*,

2012). Y si bien, a lo largo de la historia del país se decretaron diferentes leyes y políticas públicas, se destacarán sólo las principales, pudiendo acceder al Anexo n°03: tablas n°28 y 29, para la revisión completa.

La adhesión del país al Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB) en 1994, no solo fue una clara señal de preocupación hacia el tema de la conservación, sino que tuvo un impacto directo en las políticas internas, dado que se promulga la Ley n°19.300 de Ley de Bases Generales del Medio Ambiente, la cual en su artículo 1 establece que “*el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental se regularán por las disposiciones de esta ley, sin perjuicio de lo que otras normas legales establezcan sobre la materia*” (BCN, 1994a. p.1). Además, se crea la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), un paso importante dado que este organismo “*juega un rol activo de gestión en el sistema de evaluación de impacto ambiental y en los procesos de generación de normas de calidad ambiental y de emisión*” (BCN, 1994b, p. 148-149) y el cual estuvo vigente hasta el año 2010, siendo la institución encargada de regular y fomentar la protección de los recursos y el principal promotor de incorporar lo establecido en el CDB (Jorquera-Jaramillo *et al.*, 2012; CONAMA, s.f.).

Los instrumentos principales utilizados para la protección y conservación son: (1) establecimiento de áreas o espacios protegidos en los que se restringe el aprovechamiento de los recursos, (2) la protección de las especies y (3) el sistema de evaluación de impacto ambiental (CONAMA, s.f.). Y si bien significó un avance hacia la conservación, este sistema tuvo falencias, como el hecho que aproximadamente un 99,8% del territorio que contiene la biodiversidad nacional se encuentra en áreas rurales que no han sido incorporadas dentro de los esquemas de planificación integral y los cuales terminan abarcando los proyectos agrícolas (Jorquera-Jaramillo *et al.*, 2012; Pellet *et al.*, 2005), o también, el hecho que los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) no cumplan al cien por ciento con su tarea dado que no se establece que éstos deban ser realizados por personal especializado y parcial, sino que las empresas tienen el derecho de contratar sus propios expertos para realizarlos dado que no existe el concepto de “conflicto de intereses”, y donde la decisión final sobre la aprobación de proyectos productivos recae sobre las comisiones regionales del medio ambiente (COREMA) y no sobre las autoridades técnicas (Manzur, 2005), mientras que la fiscalización del cumplimiento de las normas tuvo falencias principalmente a causa de la falta de personal especializado y de un presupuesto adecuado (Pellet *et al.*, 2005; Jorquera-Jaramillo *et al.*, 2012).

La CONAMA, por tanto, fue el primer paso, pero al ser una entidad que dividía sus responsabilidades con las otras entidades públicas – como el Ministerio de Agricultura, el cual se preocupaba de todo lo referente a protección en los espacios rurales, el MOP y la Dirección General de Aguas para los temas relacionados a cursos de aguas, y el SERNAPESCA que se ocupaba de los espacios costeros y marinos –, se hacía patente la necesidad de una entidad pública integradora, por lo que el año 2010 y a través de la promulgación de la Ley n°20.417, se establece en el artículo primero la sustitución de la ley

19.300 creando el Ministerio del Medio Ambiente, el cual tiene por objetivo “*colaborar con el Presidente de la República en el diseño y aplicación de políticas, planes y programas en materia ambiental, así como en la protección y conservación de la diversidad biológica y de los recursos naturales renovables, promoviendo la integridad de la política ambiental y su regulación normativa*” (BCN, 2010, p.90)

Por su parte, el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), ejecutado y dependiente de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), ha sido regulada y definida por la Ley n°18.326 del año 1984, y cuyos objetivos son: (i) mantener áreas de carácter único o representativas de la biodiversidad natural del país, (ii) mantener y mejorar los recursos de flora y fauna silvestres, (iii) mantener la capacidad productiva de los suelos y restaurar los que estén en peligro, (iv) mantener los sistemas hidrológicos naturales y (v) preservar y mejorar los recursos escénicos naturales y los elementos que estén ligados a un ambiente natural (BCN, 1984, p.1), esto a través de la creación de:

- Parques Nacionales
- Reservas Nacionales
- Monumentos Nacionales
- Reserva de Región Virgen,

las cuales son complementadas con otras categorías tales como:

- Santuarios de la Naturaleza
- Áreas de Protección
- Áreas de interés científico
- Reservas Genéticas
- Reservas de la Biósfera (Manzur, 2005)

Y si bien, estas áreas significaron un avance hacia un plan de conservación, existen críticas respecto a la representación que tiene respecto a los ecosistemas del país así como también, existe crítica hacia el cuerpo jurídico bajo el cual están reguladas, dado que en algunos casos (como en los parques nacionales), se encuentran bajo el amparo de cuatro normas diferentes, siendo la Ley de SNASPE, la Ley de Bosques, la Convención de Washington y el D.L. n°1.939/1997 los cuerpos legales responsables, lo que hace que existan contradicciones, vacíos legales e incoherencias dada la falta de una regulación estable y un reglamento propio (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011b; Manzur, 2005).

2.3.3.2. Clasificación de especies

El determinar si una especie se encuentra o no bajo amenaza (o en riesgo) de extinguirse es una labor compleja pero necesaria que ayuda a gestionar la toma de decisiones. Por ejemplo, respecto a las acciones para la conservación, la categorización de las especies resulta en una herramienta fundamental para lograr ese objetivo (MMA, s.f.b; Squeo *et al.*, 2010). Si bien algunos autores del s. XIX y mitad del s. XX se aventuraron en mencionar, para el caso de Chile, a algunas especies como amenazadas o en peligro, no es hasta la publicación del libro

“Chile: plantas en extinción” del botánico Muñoz-Pizarro en el año 1973, donde se muestra el primer listado de especies amenazadas, el cual considera a 58 especies de plantas como “ya extinguidas” o “por extinguirse”. Este trabajo fue profundizado en los años 80 a través de reuniones de especialistas organizadas por la CONAF, donde se producen los primeros Libros Rojos, tanto de flora terrestre, vertebrados y sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad, en función de las categorías de la UICN (Torres-Mura, Castro & Oliva, 2008; Squeo *et al.*, 2010; MMA, s.f.b).

El primer reglamento para la clasificación de especies silvestres fue publicado el año 2005, el cual establece las disposiciones que regirán el procedimiento para la clasificación de las especies en las categorías aludidas en la Ley n°19.300. En su artículo 37 establece que “*el procedimiento para clasificar las especies de flora y fauna silvestre, sobre la base de antecedentes científico-técnicos, y según su estado de conservación, en las siguientes categorías: extinguidas, en peligro de extinción, vulnerables, raras, insuficientemente conocidas y fuera de peligro*” (BCN, 1994b). La supervisión legal, por tanto, queda encomendada a la Comisión Nacional del Medio Ambiente, y cuya evaluación depende del Comité de Clasificación, el cual es un comité multidisciplinario conformado por un grupo de 12 miembros (MMA, s.f.b; Squeo *et al.*, 2010).

Dentro de lo establecido en la Ley n°19.300, la clasificación no sigue las pautas entregadas por la UICN, estableciendo en Chile sólo 6 categorías (ver Anexo n°04 tabla n°30) a diferencia de las 9 categorías propuestas por la UICN (ver Anexo n°05, tabla n°31). En Chile, por ejemplo, la categoría “en peligro” abarca tanto a las especies consideradas por la UICN como “en peligro crítico” y “en peligro”, y se añade la categoría “rara”, la cual no exista en la clasificación de la UICN (Squeo *et al.*, 2010).

En la actualidad, la clasificación utilizada es la del año 2010 y que fue propuesta a través de la Ley n°20.417 en la cual se modifica el artículo 37 de la Ley n°19.300, estableciendo que “*el reglamento fijará el procedimiento para clasificar las especies, plantas, algas, hongos y animales silvestres, sobre la base de antecedentes científico-técnicos, y según su estado de conservación, en las categorías recomendadas para tales efectos por la Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza (UICN) u otro organismo internacional que dicte pautas en estas materias*” (BCN, 2010), vale decir, Chile comienza a regirse bajo las 9 categorías de: Extinta, Extinta en estado Silvestre, En peligro crítico, En peligro, Vulnerable, Casi amenazada, Preocupación menor y Datos insuficientes (ver Anexo n°06, tabla n°32) (MMA, s.f.b). El total de categorías tanto de la IUCN, la Ley n°19.300 y la Ley n°20.417, se pueden ver a continuación en la tabla n°3:

Categorías de conservación establecidas por la IUCN	Categorías de conservación establecidas en la Ley n° 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente	Categorías de conservación establecidas en la Ley n° 20.417 a través de la modificación de la Ley n° 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente.
Extinto (EX)	Extinta	Extinta
Extinto en estado silvestre (EW)	En peligro de extinción	Extinta en Estado Silvestre
En peligro crítico (CR)	Vulnerable	En Peligro Crítico
En peligro (EN)	Insuficientemente Conocida	En Peligro
Vulnerable (VU)	Rara	Vulnerable
Casi Amenazado (NT)	Fuera de Peligro	Casi Amenazada
Preocupación Menor (LC)		Preocupación Menor
Datos Insuficientes (DD)		Datos Deficientes
No Evaluado (NE)		

Tabla n° 3. "Resumen de las categorías de conservación de las especies establecidas por la IUCN, la Ley n° 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, y la Ley n° 20.417". Fuente: Elaboración propia en base a Categorías y criterios de la lista roja de la UICN: versión 3.1, 2000 y a MMA, s.f.b

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo, se plantean los diferentes pasos metodológicos a seguir para el desarrollo de los objetivos específicos de la presente investigación, dividiéndolos en cuatro grandes grupos (ver figura n°6), contando con tres etapas: la primera, detalla una revisión bibliográfica para ambas especies, la segunda se centra en la modelación y la tercera, centrada en los cambios de uso y cobertura de suelo en el Valle de Azapa.

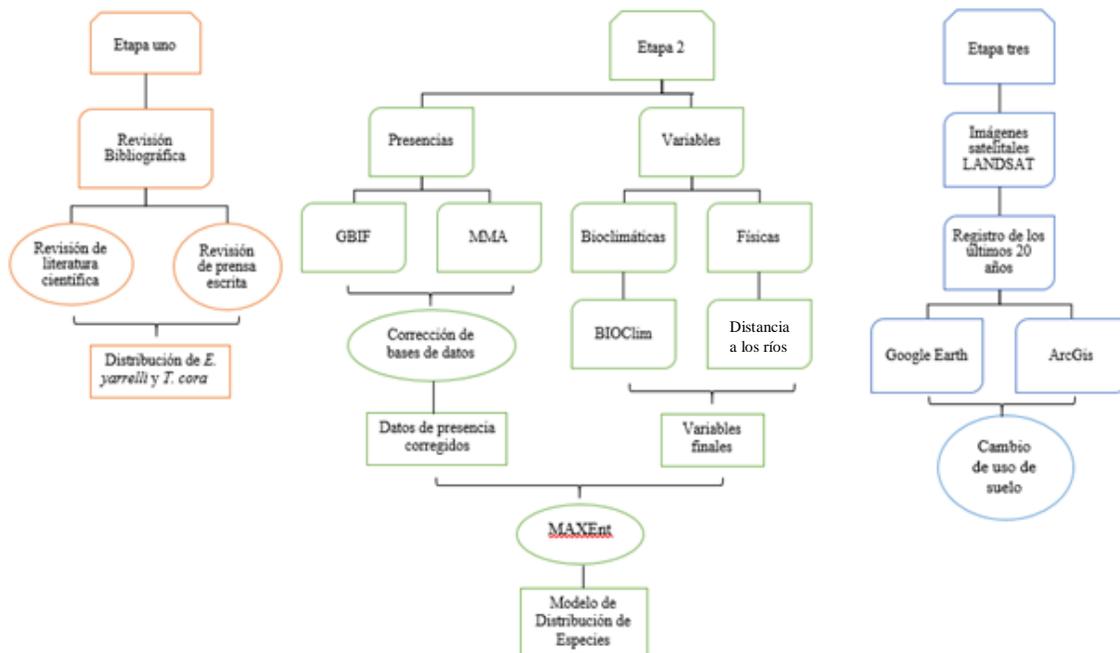


Figura n° 6. Cuadro resumen de los pasos metodológicos. Fuente: Elaboración propia.

3.1. Información respecto a la distribución de *E. yarrellii* y su competidor *T. cora* en el territorio comprendido en la Región de Arica y Parinacota

3.1.1. Revisión bibliográfica

En esta etapa, se realiza el primer acercamiento respecto a la información clave del comportamiento tanto de *E. yarrellii* como de su competidor *T. cora*, para identificar los factores claves tanto de localización, su comportamiento propio como especie, reproducción, por nombrar algunos, a través de dos grupos de información: información de literatura científica y revisión de prensa.

3.1.1.1. Revisión de literatura científica.

Esta etapa consiste en la utilización de motores de búsqueda tales como Google Scholar, Researchgate, Scielo, el Repositorio de la Universidad de Chile, para seleccionar los documentos que aporten información relevante para ambas especies, tales como el informe final sobre la simulación de áreas lek, material de difusión página web y estimación poblacional al año 2016 de la Unión de Ornitólogos de Chile o el libro Picaflor de Arica, en peligro de extinción del Ministerio del Medio Ambiente, por nombrar algunos.

Sumado a esto, se buscan fuentes oficiales, como el caso del Ministerio del Medio Ambiente, quienes facilitaron dos documentos de gran importancia, como es el caso del libro “Picaflor de Arica, en peligro de Extinción” de Herreros de Lartundo, Tala & Estades, así como del informe realizado por la Unión de Ornitólogos de Chile del año 2016, el cual contiene la información más actualizada sobre el estado poblacional del Picaflor de Arica, así como de las medidas que se han tomado con los habitantes de la región de Arica y Parinacota para avanzar en el camino hacia la protección del picaflor antes mencionado, informe que no se encuentra disponible en ninguna plataforma online.

3.1.1.2. Revisión de prensa

Complementando la información recuperada a través de la revisión de literatura científica, se revisa la prensa escrita encontrada en diarios, blogs de personas pertenecientes a la zona o relacionadas con la investigación de la especie e información audiovisual de reportajes transmitidos por canales de televisión, como el caso de los reportajes “Salvando el Picaflor de Arica”, realizado por Televisión Nacional y “Arica Nativa: el picaflor de Arica”, o de la actualización respecto a las medidas planteadas por estamentos nacionales e internacionales, lo cual se ve expresado a través de los diversos medios de prensa.

3.2. Pasos metodológicos para la creación de bases de datos para la realización de los modelos de distribución de especies.

3.2.1. Fuentes de información de registros de presencias

El paso metodológico previo para la generación de los modelos de distribución es la obtención de una base de registros de las especies que esté actualizada y que posea los datos fundamentales requeridos, como las coordenadas geográficas. En la siguiente investigación, se utilizaron los datos extraídos de dos fuentes de información diferentes, las cuales fueron complementadas entre sí. La primera fuente informativa fue el Ministerio del Medio Ambiente, estamento que facilitó de forma privada la base de datos completa de registros de las especies de la Región de Arica y Parinacota, la cual no puede ser encontrada en ninguna plataforma online. La segunda fuente utilizada, fue la plataforma Global Biodiversity Information Facility (o GBIF de acuerdo con sus siglas), la cual recopila diferentes colectas

alrededor del mundo y donde los datos pueden ser extraídos de forma gratuita previa inscripción de la persona interesada. Dichas plataformas, entregaron la información tanto para *E. yarrellii* como para *T. cora*.

3.2.2. Corrección de las bases de datos

En conjunto con la selección de las fuentes de información, se realiza una revisión de las categorías que vienen presentes en cada base de datos. En el caso de las bases de datos obtenidas a través de la plataforma GBIF, éstas vienen bajo el formato utilizado mundialmente para el registro de especies DarwinCore, el cual contiene 44 categorías diferentes, de las cuales las más relevantes en esta investigación son el nombre científico, latitud, longitud, altitud y año de la colecta. Por su parte, en las bases de datos obtenidas a través del Ministerio del Medio Ambiente, estas también vienen en el formato DarwinCore pero con una serie de nuevas categorías añadidas por el propio ministerio (definiendo el formato como DarwinCore-MMA), alcanzando un total de 106 campos, los cuales se dividen en tres categorías: información obligatoria (40 campos), información de uso exclusivo interno del Ministerio del Medio Ambiente (8 campos) y otra información opcional (58 campos) y de los cuales, sólo se utilizarán 5 de los campos pertenecientes a la información obligatoria tal como en el caso anterior: nombre científico, latitud, longitud, altitud y año de la colecta.

Y si bien los campos contienen información en las bases de datos obtenidas, en el caso de las coordenadas geográficas de latitud y longitud, ambas fuentes de información presentaron inconvenientes que debieron ser corregidos.

i. Corrección de la base de datos del Ministerio del Medio Ambiente

En una primera instancia, se hizo un filtro de las especies contenidas en la base de datos, ya que ésta posee alrededor de 5 reinos: animalia (931 especies), archaea (2), eubacteria (25), fungi (56), plantae (36) y protista (45), dejando sólo a las especies *E. yarrellii* y *T. cora*, las cuales contaban con un total de 50 registros para la primera especie y 61 registros para la segunda. Pero estos registros, tuvieron que ser nuevamente filtrados dada la coincidencia en algunas coordenadas geográficas, haciendo que el número se redujera a 21 registros del picaflor de Arica y a 20 registros del picaflor de Cora.

Una vez listos los registros definitivos a utilizar, se realizó la transformación de las coordenadas existentes, ya que casi todas las coordenadas se encontraban en el sistema UTM, y las pocas coordenadas en el sistema geográfico, estaban escritas en el formato de grados, minutos y segundos. Para ello, se utilizó el software ArcGis, ya que a través de su función *Calculate geometry* es posible calcular las coordenadas geográficas a partir de las coordenadas UTM, información que luego fue extraída en una nueva hoja de cálculo de *Excel* y sobre la cual se continuó trabajando.

ii. Corrección de la base de datos de GBIF

En el caso de las bases de datos obtenidas en la plataforma GBIF, éstas vienen por defecto en formato de archivo csv., por lo que fue necesario transformarla en una hoja de cálculo de *Excel* para poder visualizar los datos contenidos. Uno de los problemas en los datos, radica en el hecho que las coordenadas geográficas vienen por defecto en formato de celda de tipo número, por lo que los datos quedan como número enteros.

En el caso de *E. yarrelli*, se corrigieron el total de datos – 166 registros – y luego se omitieron todos aquellos que no contaban con información de coordenadas o localización, quedando un total de 152 registros. De estos, fueron omitidas todas las coincidencias que había en coordenadas geográficas, por lo que finalmente, quedó un total de 28 registros. En el caso de *T. cora*, el total de datos era de 547 registros, de los cuales fueron omitidos los datos que no contaban información, quedando un total de 362 registros. Finalmente, se omitieron también los registros con errores de tipificación en las coordenadas – los cuales no pudieran ser corregidos con la información presente – y también se filtraron todas las coordenadas pertenecientes al territorio peruano, siendo un total de 37 registros para el territorio chileno.

Finalmente, y con ambas bases de datos corregidas, se crea un nuevo archivo de *Excel* con todos los datos, incluyendo el nombre científico de la especie y las coordenadas geográficas, el cual es almacenado en formato csv., dado que es el formato requerido por el software MaxEnt.

3.2.3. La distribución espacial de las especies

Los modelos de nicho y modelos de distribución siguen pasos metodológicos como los presentes en la figura n°7, donde se utilizan la información ambiental y los registros de las especies como datos de entrada, los cuales, a través del algoritmo de modelado de los diferentes softwares disponibles, realizan el modelo y la posterior proyección de dicha información en el espacio geográfico, vale decir, los mapas con la distribución.

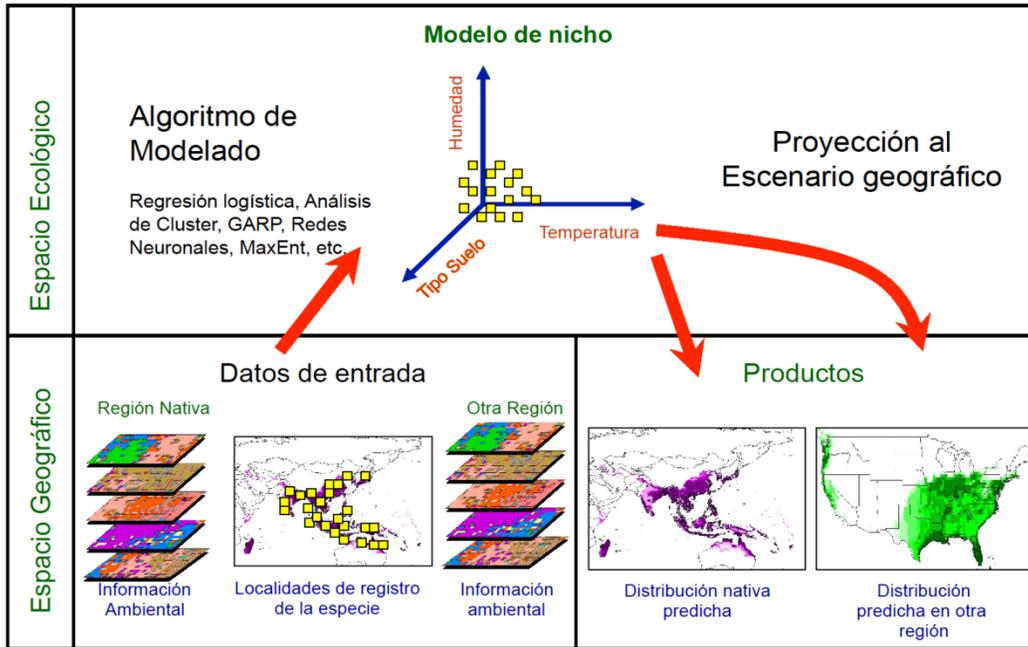


Figura n° 7. El modelamiento de nichos ecológicos. Fuente: Martínez-Meyer & Peterson, citado por Moreno, 2017. Clase del III curso de especialización. Modelamiento de Nicho ecológico. Aplicaciones a la Ecología, Biogeografía y Conservación de Especies.

De acuerdo a los registros de especies, lo mejor es considerar tanto datos de presencia como de ausencia ya que permite que exista un mejor ajuste al final del modelo – como los modelos GLM, GAM y BRT –, pero en la presente investigación, se utilizaron solo datos de presencia y entorno, estas últimas creadas por el propio software MaxEnt.

Los datos de presencia, en este caso, son para *Eulidia yarrelli* y *Thaumastura cora*, cuya corrección fue realizada en el paso metodológico anteriormente descrito, siendo un total de 49 registros para el picaflor de Arica y 57 registros para el picaflor de Cora, número adecuado de registros en consideración a lo establecido por diversos autores, quienes estiman que un número superior a 30 (según Wisz *et al.*, 2008) o 50 registros (según Kadmon, Farber & Danin, 2003), permiten la obtención de modelos estadísticamente robustos (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a)

3.2.3.1. Selección de variables bioclimáticas.

La elección de variables depende de los procesos ecológicos y biofísicos que influyen en la biota y también de la disponibilidad de datos y del propósito del modelo, por lo que se debe considerar tanto la naturaleza de los predictores potenciales y del conocimiento eco-fisiológico adecuado para poder elegir los predictores (Austin, 2007). Las variables, pueden tipificarse como variables directas, indirectas o de recurso: las variables directas son aquellas que tienen una influencia fisiológica directa en los organismos, pero no son modificados por

éstos, como la temperatura y pH, las variables indirectas son aquellas que no tienen un efecto fisiológico sobre el organismo, pero que se correlacionan con las variables directas, como la altitud, latitud o longitud, y las variables de recurso son las que tienen una interacción dinámica con los organismos (Austin, 2002).

En el caso de las variables bioclimáticas, las más utilizadas son las de WorldClim, que ofrece 19 variables que representan las tendencias anuales, estacionales y extremas tanto de temperatura como de precipitación a una resolución de 1-10 km que representan un período de tiempo comprendido entre los años 1950 y 2000.

Por su parte, Pliscoff *et al.* (2014), se percatan que los datos de WorldClim diferían de los datos obtenidos en estaciones meteorológicas del área de estudio de su investigación, especialmente los datos de temperatura, por lo que construyen una nueva base de datos extendida de las superficies climáticas que incluían datos de estaciones meteorológicas específicas de Chile, utilizando además de la base de datos de Faoclim (FAO, 2001), los reportes de las estaciones de Hajek & di Castri (1975), Amigo & Ramírez (1998), Rivas-Martínez *et al.* (2003) y Luebert & Pliscoff (2006), modelando un período de 50 años – de 1950 al año 2000, al igual que WorldClim – y produciendo variables con una resolución de 1km tanto de precipitación (P), temperatura media (T), temperatura media máxima (M) y temperatura media mínima (m), con datos obtenidos de un total de 930 estaciones climáticas de Chile, Perú, Bolivia y Argentina, logrando así evadir los efectos de borde (Pliscoff *et al.*, 2014).

Código de la variable	Nombre y descripción de la variable
BIO1	Temperatura media anual, expresada en °C *10.
BIO2	Variación de la temperatura media diurna (T máx – T mín) expresada en °C *10.
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7). Se encuentra escalada *100.
BIO4	Variación estacional de la temperatura, expresado en °C. Se encuentra medida en torno a la desviación estándar *100.
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido, expresada en °C *10.
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío, expresada en °C *10.
BIO7	Rango de temperatura anual (BIO5 – BIO6), expresada en °C *10.
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo, expresada en °C *10.
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco, expresada en °C *10.
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido, expresada en °C *10.
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío, expresada en °C *10.
BIO12	Precipitación anual, expresada milímetros *1.
BIO13	Precipitación del mes más húmedo, expresada en milímetros *1.
BIO14	Precipitación del mes más seco, expresada en milímetros *1.
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación) *100.

BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo, expresada en milímetros *1.
BIO17	Precipitación del trimestre más seco, expresada en milímetros *1.
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido, expresada en milímetros *1.
BIO19	Precipitación del trimestre más frío, expresada en milímetros *1.

Tabla n° 4. "Variables bioclimáticas de Pliscoff et al., 2014" Elaboración propia en base a las abreviaciones usadas para variables bioclimáticas, obtenidas desde <http://www.ccafs-climate.org/downloads/docs/bioclimatic-variables.pdf>

Ahora bien, estas 19 nuevas y recalculadas variables bioclimáticas ajustadas al tamaño de la región de Arica y Parinacota fueron evaluadas para identificar la correlación entre ellas a través del software *R* y su función *corrplot*, la cual realiza la evaluación de las variables elegidas y donde muestra los grupos de variables más relacionadas entre sí a través de un rango que va de -1 a 1 (ver figura n°8), donde 1 representa la mayor correlación

	bio1	bio2	bio3	bio4	bio5	bio6	bio7	bio8	bio9	bio10	bio11	bio12	bio13	bio14	bio15	bio16	bio17	bio18	bio19
bio1	1	-0,66	-0,48	0,43	0,99	0,99	-0,76	1	0,99	1	1	-0,85	-0,89	-0,44	-0,8	-0,87	-0,69	-0,85	-0,74
bio2	-0,66	1	0,94	-0,13	-0,54	-0,7	0,94	-0,66	-0,7	-0,65	-0,68	0,75	0,75	0,22	0,61	0,75	0,59	0,78	0,51
bio3	-0,48	0,94	1	-0,06	-0,37	-0,52	0,77	-0,49	-0,54	-0,48	-0,5	0,65	0,64	0,14	0,47	0,65	0,48	0,68	0,39
bio4	0,43	-0,13	-0,06	1	0,51	0,46	-0,23	0,45	0,45	0,47	0,37	-0,08	-0,13	0,03	-0,64	-0,11	0,03	-0,09	-0,09
bio5	0,99	-0,54	-0,37	0,51	1	0,97	-0,67	0,98	0,98	0,99	0,98	-0,8	-0,84	-0,44	-0,8	-0,82	-0,65	-0,8	-0,73
bio6	0,99	-0,7	-0,52	0,46	0,97	1	-0,82	0,99	0,99	0,99	0,99	-0,84	-0,88	-0,42	-0,83	-0,86	-0,69	-0,85	-0,74
bio7	-0,76	0,94	0,77	-0,23	-0,67	-0,82	1	-0,77	-0,8	-0,76	-0,78	0,75	0,77	0,28	0,72	0,76	0,61	0,77	0,58
bio8	1	-0,66	-0,49	0,45	0,98	0,99	-0,77	1	0,99	1	0,99	-0,85	-0,88	-0,44	-0,81	-0,87	-0,68	-0,85	-0,74
bio9	0,99	-0,7	-0,54	0,45	0,98	0,99	-0,8	0,99	1	0,99	0,99	-0,86	-0,89	-0,42	-0,83	-0,88	-0,69	-0,86	-0,74
bio10	1	-0,65	-0,48	0,47	0,99	0,99	-0,76	1	0,99	1	0,99	-0,84	-0,88	-0,43	-0,81	-0,86	-0,68	-0,84	-0,73
bio11	1	-0,68	-0,5	0,37	0,98	0,99	-0,78	0,99	0,99	0,99	1	-0,88	-0,91	-0,46	-0,78	-0,9	-0,72	-0,88	-0,76
bio12	-0,85	0,75	0,65	-0,08	-0,8	-0,84	0,75	-0,85	-0,86	-0,84	-0,88	1	0,99	0,57	0,55	1	0,9	0,99	0,88
bio13	-0,89	0,75	0,64	-0,13	-0,84	-0,88	0,77	-0,88	-0,89	-0,88	-0,91	0,99	1	0,52	0,6	0,99	0,89	0,98	0,89
bio14	-0,44	0,22	0,14	0,03	-0,44	-0,42	0,28	-0,44	-0,42	-0,43	-0,46	0,57	0,52	1	0,17	0,55	0,6	0,55	0,52
bio15	-0,8	0,61	0,47	-0,64	-0,8	-0,83	0,72	-0,81	-0,83	-0,81	-0,78	0,55	0,6	0,17	1	0,59	0,37	0,58	0,49
bio16	-0,87	0,75	0,65	-0,11	-0,82	-0,86	0,76	-0,87	-0,88	-0,86	-0,9	1	0,99	0,55	0,59	1	0,88	0,99	0,87
bio17	-0,69	0,59	0,48	0,03	-0,65	-0,69	0,61	-0,68	-0,69	-0,68	-0,72	0,9	0,89	0,6	0,37	0,88	1	0,88	0,95
bio18	-0,85	0,78	0,68	-0,09	-0,8	-0,85	0,77	-0,85	-0,86	-0,84	-0,88	0,99	0,98	0,55	0,58	0,99	0,88	1	0,87
bio19	-0,74	0,51	0,39	-0,09	-0,73	-0,74	0,58	-0,74	-0,74	-0,73	-0,76	0,88	0,89	0,52	0,49	0,87	0,95	0,87	1

Figura n° 8. "Correlación de las 19 variables bioclimáticas". Fuente: elaboración propia en base a la información obtenida a través del software *R*.

De una forma más gráfica, el software *R* entrega un gráfico con colores, en los cuales automáticamente agrupa las variables con mayor correlación (ver figura n°9), y en donde es posible distinguir tres grandes grupos y tres variables que no tienen una alta correlación con las demás, tales como la BIO4 (Variación estacional de la temperatura), BIO14 (Precipitación del mes más seco) y BIO15 (Estacionalidad de la precipitación). Las variables correspondientes a temperatura, casi en su totalidad se encuentran dentro del primer gran grupo (BIO1, BIO5, BIO6, BIO8, BIO9, BIO10, BIO11), mientras que algo similar ocurre con las variables de precipitación/segundo grupo (BIO12, BIO13, BIO16, BIO17, BIO18, BIO19), siendo el último grupo, el que agrupa sólo 3 variables (BIO2, BIO3 y BIO7).

Finalmente, se decide trabajar con 5 variables: BIO1 (Temperatura media anual), BIO3 (Isotermalidad), BIO4 (Variación estacional de la temperatura), BIO14 (Precipitación del mes más seco) y BIO18 (Precipitación del trimestre más cálido).

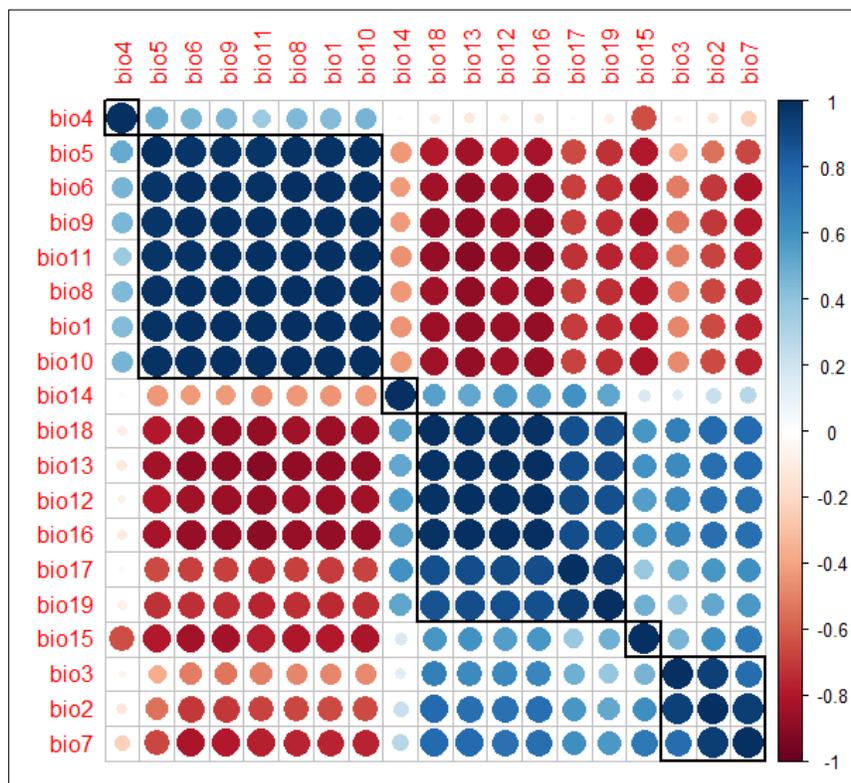


Figura n° 9. “Correlación de variables bioclimáticas a través del software R”. Elaboración propia.

Sumado a las variables bioclimáticas antes descritas, se utilizará como variable la distancia a los ríos, variable que fue creada en el software ArcGis.

3.2.3.2. Maxent, calibración y validación.

i. Maxent

Existe una variada gama de programas computacionales para realizar modelos de distribución de especies, cada uno con características propias que los pueden hacer más o menos confiables a la hora de utilizarlos, y que pueden entregar diferentes predicciones, por lo que es importante producir pautas para producir los modelos más precisos (Phillips & Dudík, 2008). Algunos, como en el caso de BIOCLIM, sólo requieren presencias, otros como los BTR o GLM requieren datos de presencia y ausencia, y otros como ENFA o MaxEnt que

sólo requieren presencias dado que crean sus propias ausencias (llamadas *de entorno*) – ver figura n°10 – (Elith *et al.*, 2006).

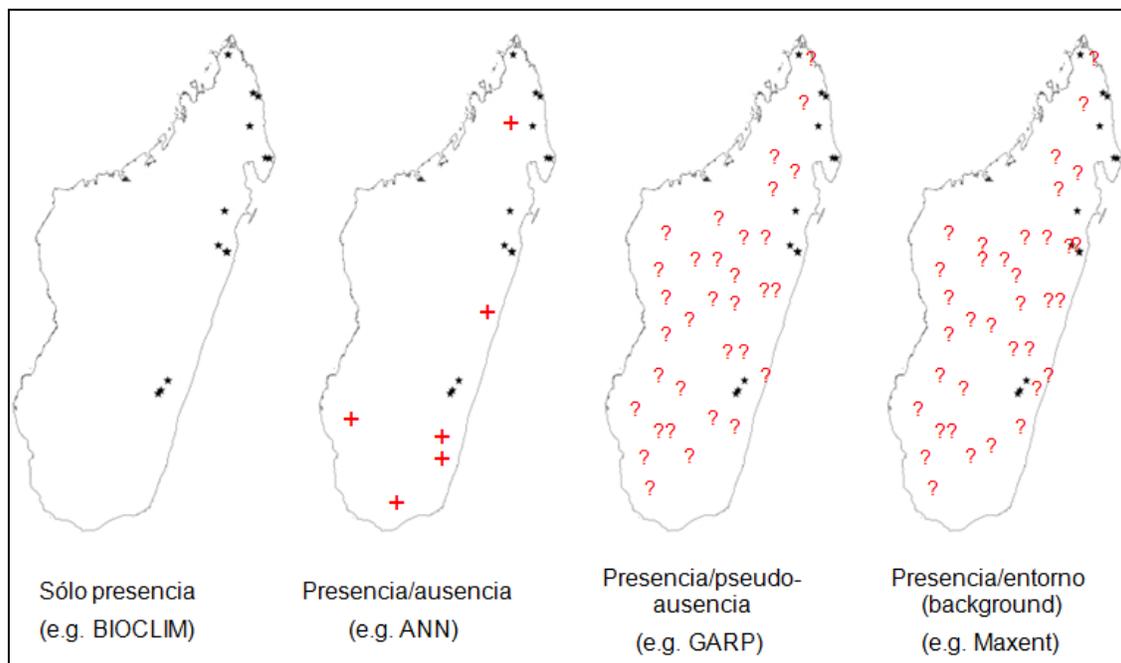


Figura n° 10. Los diferentes algoritmos y su representación espacial. Fuente: Labra, 2017. Clase de III curso de especialización. Modelamiento de Nicho ecológico. Aplicaciones a la Ecología, Biogeografía y Conservación de Especies.

En esta investigación, se utilizará el algoritmo de MaxEnt, el cual utiliza una aproximación mecanicista para realizar predicciones a partir de la información incompleta – dado que el programa se encarga de generar sus propias ausencias (*background*) –, estimando la distribución más uniforme o de mayor entropía en el área de estudio, donde se pesa cada característica (variable ambiental) al multiplicarla por una constante, la cual se divide posteriormente para asegurar valores entre 0 y 1 (Mateo, Felícimo & Muñoz, 2011; Illoldi & Escalante, 2008; Elith *et al.*, 2006).

Una de las ventajas que poseen los modelos “solo de presencia”, es que solo requieren de un set de ocurrencias, el cual no necesita ser demasiado grande, con un número recomendado de unas 30 ocurrencias, asociado a variables predictoras como las variables climáticas, biogeográficas, sensibilidad remota y topografía (Phillips & Dudík, 2008; Baldwin, 2009). Estas variables se pueden encontrar de forma gratuita en internet (como en el caso de las variables bioclimáticas entregadas por WorldClim) o ser generadas por el propio usuario, las cuales deben estar en formato ASCII. Por su parte, las ocurrencias o registros de las especies deben guardarse en formato csv. el cual puede realizarse directamente desde *Excel*, con la información básica del nombre de la especie y un par de coordenadas geográficas, información que también puede ser encontrada de forma gratuita en plataformas como GBIF, o bien pueden ser generadas de forma particular.

ii. Calibración del modelo

La versión 3.4.1 del software MaxEnt fue la versión utilizada en la presente investigación, y fue utilizada su configuración por defecto (ver figura n°11), seleccionando adicionalmente las funciones de *Create response curves* y dejando el porcentaje de prueba (*random test porcentaje*, disponible en la pestaña *settings*), de un 30%. El porcentaje de prueba es una herramienta de suma importancia en la generación del modelo, dado que permite que se retenga un cierto porcentaje de los datos de presencia para ser usados en la evaluación del rendimiento del modelo y que, en caso de no establecerlo de forma personal, hará que el software emplee los datos utilizados para modelar para además realizar la evaluación (Young, Carter & Evangelista, 2011).

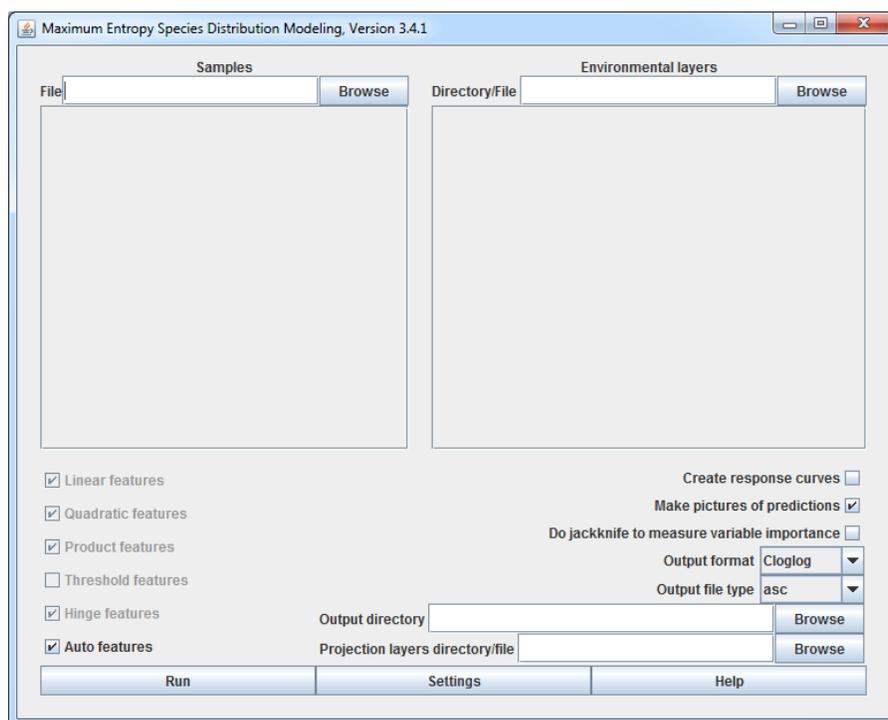


Figura n° 11. “Interfaz del software MaxEnt versión 3.4.1”. Fuente: Elaboración propia.

iii. Evaluación del modelo:

Para evaluar el modelo, se pueden utilizar diferentes configuraciones en el programa: *jackknife*, curva de omisión y curva ROC.

El *jackknife* (*jackknife modeling testing*) permite evaluar la funcionalidad de una variable a través de la omisión de dicha variable y viendo si el ajuste del modelo es mejor, peor o se mantiene, vale decir cuánto “resta” o “pesa” la ausencia o inclusión de la variable dentro del modelo. Para ello, MaxEnt realiza un modelo con todas las variables, excepto la que fue omitida, y otro modelo sólo con la variable omitida. (Labra, 2017)

La *curva de omisión*, por su parte, a través de una matriz de confusión clasificando las presencias y ausencias como un falso positivo o *sobrepredicción* y falso negativo o *subpredicción* según corresponda (ver figura n°12), en donde *b* es un falso negativo – dado que se predice como presente pero se encuentra ausente – también llamado error de comisión, y *c* es el falso negativo – donde se predice como ausente cuando en realidad está presente – y también es llamado como error por omisión (Labra, 2017).

- El *error por omisión*, considerado un error duro, puede ocurrir por una mala identificación de la especie, una mala georreferenciación de la especie o que la especie no corresponda o esté fuera del nicho al cual pertenece.

- El *error por comisión*, considerado un error blando, puede producirse porque la especie “puede” estar presente pero la falta de muestreo la deja como ausente, porque el área es adecuada pero la especie no se encuentra allí por algún suceso producido en el área, o porque el área no es adecuada.

Matriz de Confusión

Matriz de confusión	Presente	Ausente
Predicho como presente	a	b
Predicho como ausente	c	d

Figura n° 12. Matriz de confusión. Fuente: Labra, 2017. Clase de III curso de especialización. Modelamiento de Nicho ecológico. Aplicaciones a la Ecología, Biogeografía y Conservación de Especies

Finalmente, la *Receiver Operating Characteristic Analysis* o *ROC*, caracteriza el rendimiento del modelo con la denominada área bajo la curva o *AUC*. El *Area under the receiver-operator curve* o el área bajo la curva (*AUC*), se ha convertido en una de las funciones más populares de *MaxEnt* y permite encontrar el punto de corte óptimo en la cual las curvas presentan la sensibilidad (omisión cero) en función del error de comisión para distintos puntos de corte (umbrales) a través de puntos de prueba y entrenamiento (Labra, 2017).

Los rangos de precisión del modelo en función de *AUC*, definen que un rango de 0.5 es malo (es peor que un modelo aleatorio) y de 1.0 como excelente (buena capacidad de predicción), con intervalos de: 0.6 - 0.7: pobre; 0.7 - 0.8: satisfactorio; y 0.8 - 0.9: bueno (Young, Carter & Evangelista, 2011; Siles *et al.*, 2004).

En esta investigación, se utilizará el área bajo la curva a través del 30% de porcentaje de prueba que fue fijado anteriormente, y se omitirá la realización del *jackknife*.

3.3. Pasos metodológicos para el análisis del cambio de uso de suelo del Valle de Azapa en los últimos 20 años.

3.3.1. Selección de los materiales y tipología para los diferentes usos de suelo.

El paso metodológico previo a la realización del levantamiento del uso de suelo es la selección de los materiales con los cuales se trabajará.

En esta investigación, se realizó un análisis del uso de suelo en el Valle de Azapa en un período de 20 años, seleccionando para ello 3 años diferentes: 1995, 2005 y 2015. La elección de estos años se relaciona directamente con el estudio realizado por Estades *et al.* (2007), en donde los investigadores realizan un levantamiento de información respecto al número de individuos el año 2004 en tres valles de la región y, además, estiman que para el año 2014 (diez años después), con la implementación de planes de recuperación y protección, el número de individuos debería haber aumentado. El año 2005 y 2015, por tanto, son justamente un año posterior tanto a la estimación de individuos como del supuesto año en que se podrían haber contabilizado los primeros resultados de los planes implementados.

La obtención de las imágenes satelitales se realizó a través del portal DGI, siendo para el año 1995 y 2005 imágenes del satélite Landsat 7 y para el año 2015 del satélite Landsat 8, cuyos meses fueron los de verano dada la baja nubosidad presente en dichas fechas.

La clasificación de uso de suelo se basa en lo definido por la nomenclatura Corine Land Cover, la cual cumple la función de llevar un “inventario estandarizado” de uso de suelo, la cual cuenta con 6 niveles diferentes de clasificación (ver Anexo n°7, tabla n°33) y en los que se detallan tanto el tipo de uso como sus características. En esta memoria, se optó por utilizar sólo hasta el nivel 3 de clasificación, vale decir:

- Nivel 1: todos los tipos de uso de suelo correspondientes a Corine Land Cover
- Nivel 2: ejemplos de usos de suelo
- Nivel 3: ejemplos específicos del tipo de clasificación.

En este caso, de las cinco clasificaciones diferentes propuestas en el nivel 1, se seleccionaron tres, las cuales se refieren tanto a zonas urbanas como también a la clasificación de Áreas Agrícolas y Áreas forestales (ver tabla n°5), mientras que las clasificaciones del nivel 2 y nivel 3 también fueron acotadas a lo meramente necesario para el desarrollo del objetivo.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
1. Superficies artificiales	1.1. Tejido urbano	
2. Áreas agrícolas	2.1. Tierra arable	
	2.2. Cultivos permanentes	
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	
3. Áreas forestales y semi naturales	3.3. Espacios abiertos con poca o nula vegetación	3.3.3. Áreas con escasa vegetación

Tabla n° 5. Nomenclatura Corine Land Cover (CLC). Fuente: http://www.igeo.pt/gdr/pdf/CLC2006_nomenclature_addendum.pdf

Cabe mencionar que, en el caso del año 2005 y 2015 se agregó un parámetro extra a la clasificación, considerando dentro de la clasificación a los invernaderos, dado el aumento y la cantidad observada a través de la fotointerpretación. En el caso del año 1995 esto no se considera ya que la cantidad observable era casi nula.

3.3.2. El levantamiento de uso de suelo: los pasos a seguir para su realización.

Para la clasificación de Uso de Suelo del período comprendido entre los años 1995 y 2015, se realizaron una serie de pasos metodológicos:

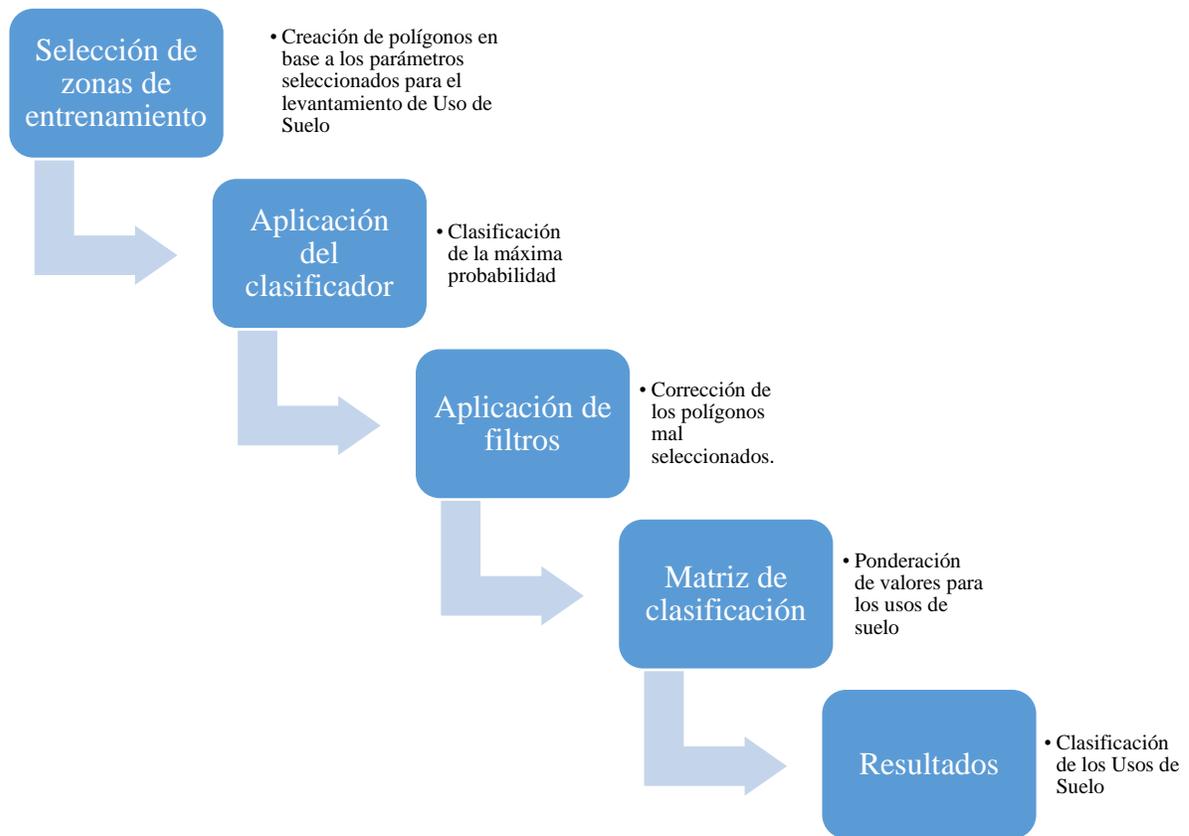


Figura n° 13. Resumen de los pasos metodológicos a seguir para la elaboración del Levantamiento de Uso de Suelo del Valle de Azapa, XV Región de Arica y Parinacota. Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.1. Selección de las zonas de entrenamiento.

En primer lugar, se procede a la identificación de las diferentes zonas de interés en relación a la nomenclatura Corine Land Cover, tarea que se realizó a través de fotointerpretación de imágenes satelitales proporcionadas por el software Google Earth pro, en la cual, gracias a la función línea de tiempo, se seleccionaron los años evaluados y se realizaron los diferentes polígonos.

- Para el año 1995, se realizaron polígonos para 5 categorías: plantaciones (áreas agrícolas heterogéneas), árboles (cultivos permanentes), tierra arable (tierra arable), tierra sin presencia de vegetación o estructuras urbanas (espacios abiertos con poca o nula vegetación) y zona urbana (tejido urbano).
- Para los años 2005 y 2015, se realizaron polígonos para 6 categorías: plantaciones (áreas agrícolas heterogéneas), árboles (cultivos permanentes), invernaderos, tierra arable (tierra arable), tierra sin presencia de vegetación o estructuras urbanas (espacios abiertos con poca o nula vegetación) y zona urbana (tejido urbano). El caso de los invernaderos, al no tener una clasificación dentro de la nomenclatura Corine Land Cover, se decide que, para términos prácticos de los pasos metodológicos siguientes, se unen a los polígonos designados para plantaciones.

3.3.2.2. Imágenes satelitales: georreferenciación, áreas de entrenamiento y filtros.

Las imágenes satelitales poseen diferentes bandas espectrales dependiendo del sensor utilizado:

Landsat 7	Landsat 8
	Banda 1 (coastal)
Banda 1 (azul)	Banda 2 (azul)
Banda 2 (verde)	Banda 3 (verde)
Banda 3 (rojo)	Banda 4 (rojo)
Banda 4 (NIR)	Banda 5 (NIR)
Banda 5 (SWIR 1)	Banda 6 (SWIR 1)
	Banda 7 (SWIR 2)
Banda 8 (Pan)	Banda 8 (Pan)
	Banda 9 (Cirrus)
Banda 6 (TIR)	Banda 10 (TIRS 1)
	Banda 11 (TIRS 2)

Tabla n° 6. “Paralelo bandas Landsat 7 y Landsat 8”. Fuente: Franco, 2017. Composiciones Landsat en ArcGIS. Guía básica., pag. 10.

En la presente memoria, se hicieron 3 combinaciones de banda que ayudaron a la identificación de polígonos de entrenamiento, siendo:

Año	Combinación	Resultado
1995	Bandas 3-2-1	Color Verdadero
	Bandas 4-3-2	Falso Color
	Bandas 5-4-1	Agricultura
2005	Bandas 3-2-1	Color Verdadero
	Bandas 4-3-2	Falso Color
	Bandas 5-4-1	Agricultura
2015	Bandas 4-3-2	Color Verdadero
	Bandas 7-6-4	Falso Color
	Bandas 6-5-2	Agricultura

Tabla n° 7. “Combinación de bandas”. Fuente: elaboración propia en base a lo establecido por Fernández-Coppel & Herrero, 2001.

Una vez obtenidas las combinaciones de banda, se realizó la corrección de georreferenciación, dado que, en el caso de los años 1995 y 2005, éstas venían con proyección WGS84 19S y el año 2015 con proyección WGS84 19N. Para corregir esto, fueron reproyectadas en el software ArcGis al sistema WGS84 19S, mientras que, en el caso de las bandas de los años 1995 y 2005, tuvieron que ser nuevamente corregidas, dado que, a pesar de tener la proyección correcta, quedaban “más al norte” de lo correspondiente. Para esto, se utilizó la herramienta “*Georeferencing*” y, a través de puntos de control, las imágenes fueron relocalizadas.

Posterior a esto, se realiza la selección de los polígonos de entrenamiento, combinando los obtenidos a través de la fotointerpretación en Google Earth pro (paso anteriormente descrito) y los observados a través de las diferentes bandas en ArcGis 10.4.1 a través de la herramienta “*Image classification*”, seleccionando entre 10 y 30 polígonos por cada categoría.

Tras el tratamiento de cada imagen, se aplicó el clasificador de tipo supervisado “*Interactive classification*”, el cual acelera el proceso de clasificación de probabilidad máxima, entregando para cada año las imágenes clasificadas en las cinco categorías antes mencionadas. Pero como en algunos casos – especialmente en las zonas con menor cantidad de plantaciones o de estructuras urbanas – el clasificador, por defecto, tomó algunos polígonos con otro tipo de clasificación, se aplicó la función “*Majority filter*” dos veces por cada año, para mitigar de alguna forma este tipo de errores.

3.3.2.3. Matriz de clasificación de usos de suelo.

A cada clasificación de uso de suelo, se le realizó una ponderación de acuerdo con los diferentes años para estimar, de esta forma, si hubo o no algún cambio:

			2005				
			Plantaciones 10	Árboles 20	Tierra arable 30	Tierra s/p 40	Zona Urbana 50
1995	Plantaciones	1	11	21	31	41	51
	Árboles	2	12	22	32	42	52
	Tierra arable	3	13	23	33	43	53
	Tierra s/p	4	14	24	34	44	54
	Zona Urbana	5	15	25	35	45	55

Tabla n° 8. “Matriz de los años 1995 y 2005 para los usos de Suelo”. Fuente: Elaboración propia.

			2015				
			Plantaciones 10	Árboles 20	Tierra arable 30	Tierra s/p 40	Zona Urbana 50
2005	Plantaciones	1	11	21	31	41	51
	Árboles	2	12	22	32	42	52
	Tierra arable	3	13	23	33	43	53
	Tierra s/p	4	14	24	34	44	54
	Zona Urbana	5	15	25	35	45	55

Tabla n° 9. “Matriz de los años 2005 y 2015 para los usos de Suelo”. Fuente: Elaboración propia.

			2015				
			Plantaciones 10	Árboles 20	Tierra arable 30	Tierra s/p 40	Zona Urbana 50
1995	Plantaciones	1	11	21	31	41	51
	Árboles	2	12	22	32	42	52
	Tierra arable	3	13	23	33	43	53
	Tierra s/p	4	14	24	34	44	54
	Zona Urbana	5	15	25	35	45	55

Tabla n° 10. “Matriz de los años 1995 y 2015 para los usos de Suelo”. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo estos datos, las imágenes satelitales fueron modificadas en su tabla de atributos para añadir la información de las matrices. Posterior a esto y, gracia a la herramienta “*Raster calculator*” de ArcGis, los valores de las matrices de cada imagen fueron sumados por pares, obteniendo de esta forma las nuevas clasificaciones y valores. La agrupación de imágenes se hizo de: “año 1995 y 2005”, “año 2005 y 2015” y “año 1995 y 2015” respectivamente. La suma de valores da como resultado un total de 25 clasificaciones diferentes de acuerdo a la ponderación estadística entregada, pudiendo ser un valor de cambio o mantención de uso de suelo, siendo:

Clasificación	Ponderación
Se mantuvo plantación	11
De árboles a plantación	12
De tierra arable a plantación	13
De tierra s/p a plantación	14
De zona urbana a plantación	15
De plantación a árboles	21
Se mantuvo árboles	22
De tierra arable a árboles	23
De tierra s/p a árboles	24
De zona urbana a árboles	25
De plantación a tierra arable	31
De árboles a tierra arable	32
Se mantuvo tierra arable	33
De tierra s/p a tierra arable	34
De zona urbana a tierra arable	35
De plantación a tierra s/p	41
De árboles a tierra s/p	42
De tierra arable a tierra s/p	43
Se mantuvo tierra s/p	44
De zona urbana a tierra s/p	45
De plantación a zona urbana	51
De árboles a zona urbana	52
De tierra arable a zona urbana	53
De tierra s/p a zona urbana	54
Se mantuvo zona urbana	55

Tabla n° 11. “Matriz de clasificaciones respecto a la ponderación estimada.” Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.4. Clasificación de los Usos de Suelo, resultados finales.

Una vez obtenidos los diversos valores, se procede a realizar los cálculos estadísticos para cada año, lo cual se realizó a través de la creación de un nuevo campo en la tabla de atributos del archivo Raster sobre el cual se encuentran los resultados de la suma de los años en cuestión. Sobre este nuevo campo, se calcula el área en m² de cada categoría y, en otro campo creado, se calcula el porcentaje de cada uno.

Finalmente, se crea un último campo en la tabla de atributos llamado “Cambio 2”, en el cual se establece, respecto a la matriz de clasificaciones, si hubo algún cambio o si se mantuvo la clasificación del uso del suelo. Con un último *Dissolve* basado en este campo de la tabla de atributos, se obtiene un nuevo archivo donde se agrupan las categorías “cambió” o “se mantuvo”, información que permite calcular el área en m² para cada año y el porcentaje de cambio de uso de suelo.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1. El caso de estudio: *Eulidia yarrellii* y su competidor *Thaumastura cora*

4.1.1. Características generales

Descubierto por el ornitólogo francés Claude Marie Jules Bourcier en el año 1847, el picaflor de Arica, nombre común para la especie *Eulidia yarrellii*, es la única especie del género *Eulidia*, el cual forma parte de los denominados *bee hummingbirds* o colibríes abeja (MMA, s.f.c)

El primer avistamiento de esta especie, fue reportado por Parker el año 1977 en la ciudad de Tacna, lo cual llevó al supuesto de que la especie se encontraba presente en los valles del Perú, específicamente en Tacna – y posiblemente también en los vales de Moquegua –, lo cual llevó a que Birdlife International considerara a la especie como endémica tanto de Perú como de Chile, pero la falta de una investigación adecuada en los años posteriores, sumado a algunos estudios recientes en los cuales no se reportan registros de la especie en la región del Perú, terminaron por hacer que la especie fuese declarada como extinta de dicho país, quedando como especie endémica sólo de la zona norte de Chile (BirdLife International, 2017; Cruz, 2006; Van Dongen *et al.*, 2013). El estudio realizado por Cruz (2006) establece algunas causas del por qué el picaflor de Arica – o de Tacna, como él nombra a la especie – habría desaparecido del territorio peruano, siendo la alteración del hábitat y la competencia interespecífica con otras especies las razones más probables.

Físicamente, y si bien los machos del picaflor de Arica y de su competidor, el picaflor de Cora, pueden ser distinguidos a la distancia, en el caso de la hembra es mucho más difícil (Clark, Feo & Van Dongen, 2013). El picaflor de Arica posee una longitud que varía entre los 7 y 7.5 centímetros en el caso de las hembras, y hasta 9 centímetros en el caso de los machos, mientras que el macho de picaflor de Cora alcanza los 12.5 centímetros y la hembra unos 7 centímetros (Herrerros de Lartundo, Tala & Estades, 2013; Cruz, Estades & Gallardo, 2010; Pulido, Salinas & Arana, 2007).

El plumaje, otra característica física fundamental, también resulta muy similar entre dichas especies, donde ambas lucen un plumaje verde oliva metálico en la cabeza y, en el caso del picaflor de Arica, el parche de la garganta posee un color púrpura iridiscente, mientras que, en el picaflor de Cora, este parche posee un tono más bien rojo violáceo iridiscente. La característica principal para poder distinguirlos, son las plumas de la cola, ya que el picaflor de Arica posee 10 plumas largas y ahorquilladas, las cuales difieren de las extensas y blancas plumas que posee el picaflor de Cora. El problema radica en que, las plumas de este último picaflor tienden a romperse, desgastarse o simplemente a desaparecer, haciendo que la distinción entre ambos picaflores sea extremadamente difícil a simple vista (AvesChile, 2016; Herrerros de Lartundo, Tala & Estades, 2013; CONAMA, 2009; Clark, Feo & Van Dongen, 2013; Pulido, Salinas & Arana, 2007).



Figura n° 14. “Picaflor de Arica macho y Picaflor de Cora macho”. Extraído de Herreros de Lartundo, Tala & Estades, 2013. Picaflor de Arica, el ave más amenazada de Chile. Ministerio del Medio Ambiente. Arica, Chile. pp. 9-14. A la izquierda, el picaflor de Arica macho y a la derecha, el picaflor de Cora macho.

Por su parte, distinguir a las hembras resulta una tarea mucho más compleja dado que su plumaje es mucho más similar que en el caso de los machos. La hembra del picaflor de Arica posee un plumaje blanco en la zona que va desde la garganta hasta el abdomen y que cambia a un tono más acanelado u ocráceo hacia los lados, mientras que la hembra de picaflor de Cora tiene la zona del cuello y abdomen más grisácea que la del picaflor de Arica, siendo ésta la característica más distinguible, pero a la vez la más difícil de visualizar cuando se observan este tipo de aves (AvesChile, 2016; Herreros de Lartundo, Tala & Estades, 2013, Clark, Feo & Van Dongen, 2013).



Figura n° 15. “Picaflor de Arica hembra y Picaflor de Cora hembra”. Extraído de Herreros de Lartundo, Tala & Estades, 2013. Picaflor de Arica, el ave más amenazada de Chile. Ministerio del Medio Ambiente. Arica, Chile. pp. 9-14. A la izquierda, el picaflor de Arica hembra y a la derecha, el picaflor de Cora hembra.

Respecto a la vocalización, el picaflor de Arica se caracteriza por emitir un sonido suave, parecido al sonido producido por las cigarras, siendo en el caso de las hembras más parecido a un zumbido, muy diferente al sonido producido por el picaflor de Cora, el cual tiende a ser mucho más audible (CONAMA, 2009; AvesChile, 2016; Herreros de Lartundo, Tala & Estades, 2013).

En cuanto a su alimentación, al ser un colibrí abeja, se nutre principalmente del néctar de flores, específicamente de aquellas que poseen corolas pequeñas dado el tamaño reducido de su pico, que no supera los 1,5 centímetros de largo, siendo el chañar (*Geoffroea decorticans*) una de las principales flores dentro de su dieta; el chingoyo o chilca (*Pluchea chingoyo*), el algarrobo (*Prosopis alba*), tamarugo (*Prosopis tamarugo*), trixis (*Trixis cacalioides*), papilla (*Pitaraea cuneato-ovata*), malva (*Waltheria americana*) y en algunas ocasiones, el Chuve (*Tecoma fulva*), también forman parte de la dieta del picaflor de Arica, aunque esta última sólo puede ser consumida cuando ya ha sido rasgada previamente por otra especie – como el comesebo chico (*Conirostrum cinereum*) –, dejando la corola expuesta. Sumado a esto, complementan su dieta con plantas ornamentales como la lantana, y por flores de cultivos agrícolas como el caso de la alfalfa, el tomate, los porotos verdes, entre otras (AvesChile, 2016; Herreros de Lartundo, Tala & Estades, 2013) y las que también se le pueden sumar la ingesta de pequeños artrópodos, arácnidos, coleópteros, mosquitos y larvas (Herreros de Lartundo, Tala & Estades, 2013).

En el caso del picaflor de Cora, las especies como *Geoffroea decorticans* y *Conirostrum cinereum* se repiten, a la vez que suman la *Trixis cacalioides*, *Pluchea chingoyo*, *Leonotis*

sp., *Vicia faba*, *Eucalyptus sp.*, *Lantana camara* y *Ricinus communis*, además de artrópodos y pequeños insectos voladores (Clark, Feo & Van Dongen, 2013; 2013).

4.1.2. Reproducción

El picaflor de Arica tiene un sistema de apareamiento de tipo lek disperso o *exploded lek*, entendiéndose por lek a un área determinada donde los machos se congregan y defienden, de forma individual, su espacio establecido como propio el cual, según estudios, tiene un tamaño promedio de 300 m², con una distancia entre unos y otros de unos 55 metros (AvesChile, 2016; Lazzoni *et al.*, 2014).

La zonificación de los lek por parte de los machos comienza en agosto, época en la cual la mayoría de ellos ya presenta su plumaje reproductivo con el parche en la zona de la garganta completamente desarrollado, en espera de la hembra, la cual se aproxima a la zona de lek en el mes de septiembre y prolonga su estadía hasta octubre, buscando un macho con el cual reproducirse, mientras que en el caso de los machos más jóvenes, éstos se aproximan en el mes de noviembre aprovechando aquellos sitios que los machos adultos dejan vacíos una vez completado el apareamiento; para el final del mes de noviembre, ya todos los picaflores han abandonado el lek (AvesChile, 2016; Cruz, 2006).

Dado que los picaflores son aves uni-parentales, las hembras se dirigen solas hacia las zonas de nidificación, área que se caracteriza por la presencia de árboles, generalmente olivos (*Olea europea*) o pimientos (*Schinus molle*), donde comienzan con la construcción del nido y posteriormente el cuidado de sus polluelos (AvesChile, 2016; Cruz, 2006; Herreros de Lartundo, Tala & Estades, 2013; CONAMA, 2009). Como la mayoría de los picaflores abeja, las hembras construyen un nido con forma de copa de aproximadamente 42,2 mm de altura, 19,8 mm de profundidad, 39,2 mm de diámetro externo y 20,8 mm de diámetro interno, los cuales son formados principalmente por lana de oveja, plumas, fibras vegetales indeterminadas y telas de araña, y en el cual se depositan un máximo de dos huevos, los cuales son blancos y de un promedio de 11,2 x 6,3 mm (Herreros de Lartundo, Tala & Estades, 2013; CONAMA, 2009).

El período reproductivo total del picaflor es bastante extenso, fluctuando entre los 45 a 48 días – sin contabilizar los días utilizados en la preparación y construcción del nido –, y donde el período de incubación de los huevos varía entre los 27 y 35 días, de los cuales, los primeros 16 a 19 días son de incubación propiamente tal y los días restantes son de estadía del polluelo en el nido (Cruz, Estades & Gallardo, 2010; Herreros de Lartundo, Tala & Estades, 2013).

La nidificación del picaflor de Cora, como pasa en la mayoría de los colibríes abeja, también cuenta de un nido con forma de copa pequeña, forradas en el exterior por pequeñas flores similares a los líquenes, astillas de pintura o escamas de helechos, el cual ubican en ramas verticales entre los 3 y 6 metros de altura, en los cuales depositan hasta dos huevos (Clark, Feo & Van Dongen, 2013; AvesChile, s.f.). A diferencia del picaflor de Arica, se tiene evidencia que el picaflor de Cora se reproduce dos veces al año, entre septiembre y noviembre (primavera) y entre marzo y mayo (otoño) (Clark, Feo & Van Dongen, 2013).

4.1.3. Hábitat

El hábitat original del picaflor de Arica es desconocido, dado que los valles en los que se lo podía encontrar originalmente han estado bajo constante transformación a lo largo de los años a causa de la actividad agrícola. Pero algo que sí se tiene claro, es que el área de desarrollo del picaflor debe tener la presencia de especies de flora productora de néctar – la cual sirve para la alimentación de la especie –, y de especies arbóreas para la época de nidificación (Cruz, 2006; Lazzoni et al, 2014).

Las estimaciones científicas, por tanto, consideran que el hábitat del picaflor se extendía desde la zona sur del Perú (Tacna) hasta el norte de Chile, en la ahora denominada Región de Arica y Parinacota (algunos incluso consideraban que el hábitat se extendía hasta las costas de Antofagasta, aunque los avistamientos en esa ciudad sólo resultaron de forma accidental), siendo los avistamientos de Perú tan antiguos que se le considera extinta de dicho país, mientras que en Chile el territorio habitado por el picaflor se distribuiría entre los valles fértiles de Azapa Vitor, Codpa y Camarones (AvesChile, 2016; Van Dongen et al, 2013; CONAMA, 2009). Algunos autores sólo consideran que los valles de Azapa y Vitor – hasta Camarones en algunos casos–, son los sitios idóneos del picaflor, declarando que los avistamientos fuera de estos valles son escasos y poco comunes, opinión no compartida por otros autores, quienes estiman que se debe considerar la movilidad que el picaflor tiene a lo largo del año, especialmente en la época de reproducción donde es posible encontrar a esta especie en zonas bajo los 1000 msnm, mientras que en los meses restantes se les encuentra en zonas precordilleranas, tales como Socoroma, Quebrada de Camarones y Camiña, dado que aprovechan los recursos florales producidos luego de las lluvias de verano, vale decir, entre los meses de febrero y mayo (CONAMA, 2009; Herreros de Lartundo, Tala & Estades, 2013; Estades *et al.*, 2007).

El picaflor de Cora fue clasificado por Johnson (1967) como una especie exclusiva del territorio peruano, específicamente de las costas áridas de Perú hasta los 2400 msnm (Birdlife International, 2016; Clark, Feo & Van Dongen, 2013). A principio de los ‘70, comenzó a extender su territorio habitado hasta la zona norte de Chile, específicamente la región de Arica y Parinacota, con una población creciente que comenzó en 1992 a encontrarse en el Valle de Azapa, volviéndose actualmente una especie común de la zona, y que ya cuenta con una pequeña pero creciente población en el Valle de Vitor (Cruz, 2006; Clark, Feo & Van Dongen, 2013)

4.1.4. Tendencia poblacional.

En casi cuatro décadas, el picaflor de Arica pasó de ser uno de los picaflores más comunes de la zona norte del país, a tener un declive casi prolongado a través de los años, que llevó a que en la década de los noventa fuera considerada una especie Vulnerable, para pasar en el año 2000 a formar parte del listado global de especies En peligro (EN); desde el año 2015, la especie se encuentra bajo la categoría de peligro crítico (CR), situación que se ha mantenido hasta el día de hoy (Birdlife International, 2017; Estades *et al.*, 2007; Herreros de Lartundo, Tala & Estades, 2013).

En un estudio realizado por Estades *et al* (2007), se realizaron estimaciones poblacionales del picaflor de Arica usando el conteo de puntos de radio fijo en dos valles (Azapa y Vítor), para el año 2003 en conjunto con las otras dos especies de picaflor: *Thaumastura cora* y *Rhodopis vesper* (ver gráfico n°1). Esta estimación poblacional, permitió visualizar el cambio de las tres especies en los dos valles anteriormente mencionados.

En el caso del picaflor de Arica, el Valle de Azapa concentraba la mayor población con un total de 1099 individuos para el mes de septiembre del año 2003, cantidad que, si se compara con el picaflor del Norte, apenas representa el 12% del total de su población, siendo este picaflor el más abundante en Azapa con 8.571 individuos. Por su parte, el picaflor de Cora apenas y superaba la población del picaflor de Arica, con un aproximado de 1.649 individuos para el mismo año.

En el caso del Valle de Vítor (también para el año 2003), se observó una menor concentración de individuos que en el Valle de Azapa por parte de dos de las tres especies (omitiendo por falta de datos el caso del picaflor de Cora), llegando en el caso del picaflor de Arica a 440 individuos (659 individuos menos que en Azapa) y en el caso del picaflor del Norte a 1.504 individuos (cerca de 7.067 individuos menos que en Azapa).

El año 2004, en tanto, sorprende la disminución en casi la mitad de su población en el caso del picaflor de Arica, que en apenas siete meses pasó a tener 564 individuos en Azapa (un 48,7% menos que en el año 2003) y apenas a 194 individuos en Vítor (casi un 56% menos que en el año 2003).

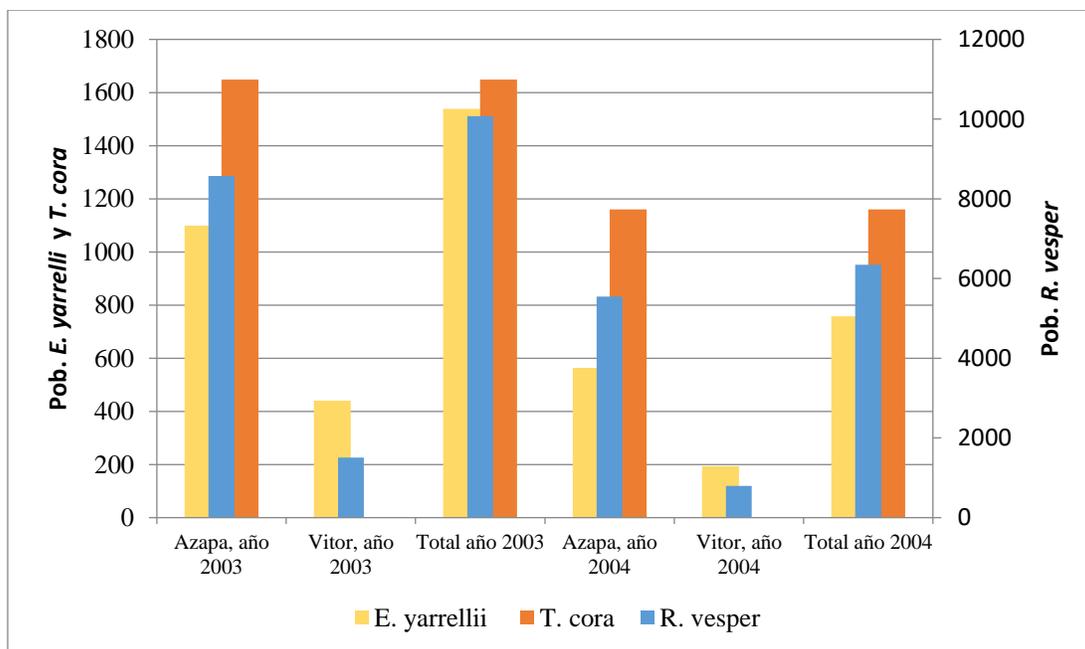


Gráfico n° 1. Población estimada de picaflores en los valles de Azapa y Vitor, norte de Chile, en septiembre del 2003 y abril del 2004. Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenidos de Estades et al. (2007) "Conservation status of the Chilean woodstar Eulidia yarrellii".

El descenso población del picaflor de Arica, tal y como se puede evidenciar en el gráfico n°2, no mejoró con el paso de los años, sino más bien, empeoró. Para el año 2015, AvesChile realizó una estimación sobre la abundancia del picaflor en los dos valles antes evaluados por Estades *et al.* (2007), sumando además dos nuevos valles, el de Lluta y el de Camarones. Y si bien Camarones es el único sobre el cual no se tenían precedentes, los otros tres valles presentaron un panorama nada favorable.

En el caso del valle de Azapa, los casi 600 individuos que se podían encontrar para el año 2004 disminuyeron en casi 380 individuos (un 68% menos aproximadamente) para el año 2015, siendo sólo en el valle de Vitor donde se registra un menor descenso de la especie, con 54 individuos menos que el año 2004 (un 27,8% aproximadamente).

En el caso del Valle de Lluta, y si bien para la década del '70 el investigador Rottmann no encontró evidencias del picaflor en dicho valle, ésta no fue considerada como una especie extinta, aunque sí se estableció que su población había disminuido abruptamente desde finales de la década del '60, algo que, aparentemente, se sostuvo en el tiempo, dado que en la estimación realizada por AvesChile, el valle de Lluta resulta con un número cero de individuos presentes, dando a entender que posiblemente la especie ya no pueda ser encontrada allí. Finalmente, el estudio arroja un total estimado de 405 individuos en total, vale decir, hubo una disminución aproximada de un 70% en 12 años (AvesChile, 2016; Estades *et al.*, 2007)

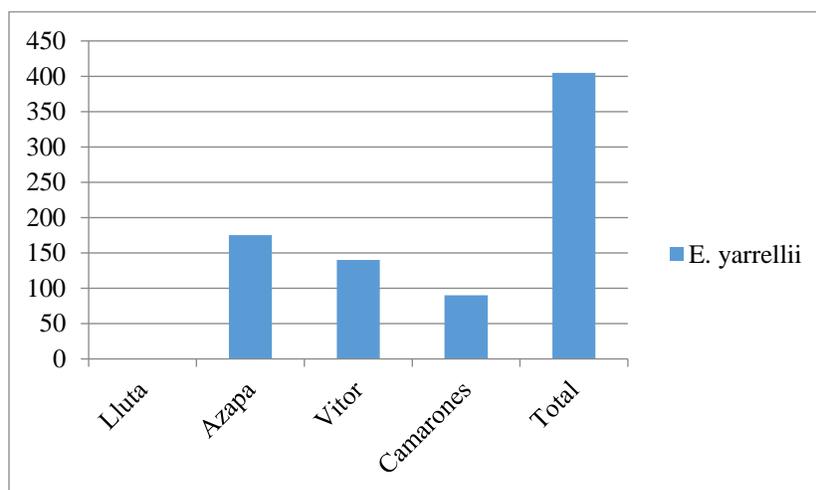


Gráfico n° 2. Abundancia estimada del Picaflor de Arica (intervalo de confianza al 90%) en los valles de Lluta, Azapa, Vitor y Camarones (octubre de 2015). Fuente: elaboración propia en base a los datos obtenidos de AvesChile, 2015 citado por AvesChile, 2016. "Picaflor de Arica (*Eulidia yarrellii*): piloto simulación de áreas lek, material de difusión página web y estimación poblacional año 2016"

De hecho, en la figura n°16 se puede ver claramente cómo el picaflor de Arica ha ido disminuyendo de manera paulatina su población, principalmente en el valle de Azapa, mientras que, en el valle de Vitor y Camarones, se ve un ligero repunte hacia el año 2016. Pero esto no es sinónimo que la especie esté teniendo un repunte, sino que los expertos advierten que, de mantenerse la situación actual, la especie se extinguirá en un plazo aproximado de cinco años (AvesChile, 2016)

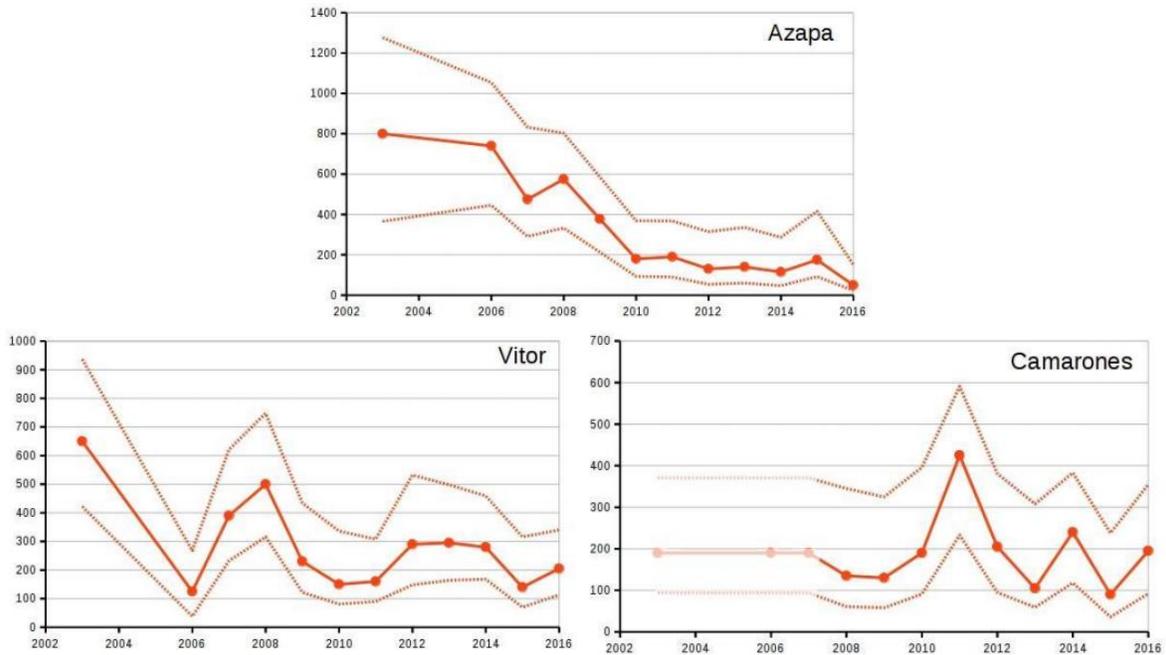


Figura n° 16. Tendencias poblacionales de *E. yarrellii* en los valles de Azapa, Vitor y Camarones entre 2003 y 2016. Los valores en Camarones entre 2003 y 2007 están estimados en base a la media histórica del sitio por no existir datos de campo. Los datos incluyen la media estimada más el intervalo de confianza al 90%. Fuente: AvesChile, 2016. “Picaflor de Arica (*Eulidia yarrellii*): piloto simulación de áreas lek, material de difusión página web y estimación poblacional año 2016” p. 34.

Ahora bien, siguiendo con las estimaciones, pero esta vez incluyendo a los otros dos picaflores (*T. cora* y *R. vesper*), éstos han tenido descensos abruptos a diferencia de lo sucedido con el picaflor de Arica, tal y como se observa en el gráfico n°3. Si dichos datos son comparados con los datos entregados por Estades *et al.* (2007) para abril del año 2004, *T. cora* pasó de un total aproximado de 1160 individuos a cerca de 935 individuos (un 19% aproximado de diferencia), mientras que en el caso de *R. vesper*, pasó de un total de 6.342 individuos a cerca de 4.025 para la primavera del año 2016 (una diferencia del 36,5% aproximadamente). Esto se ve mejor graficado en la figura n°17, donde se aprecia el descenso abrupto de las especies *T. cora* y *R. vesper* entre los años 2011 y 2013.

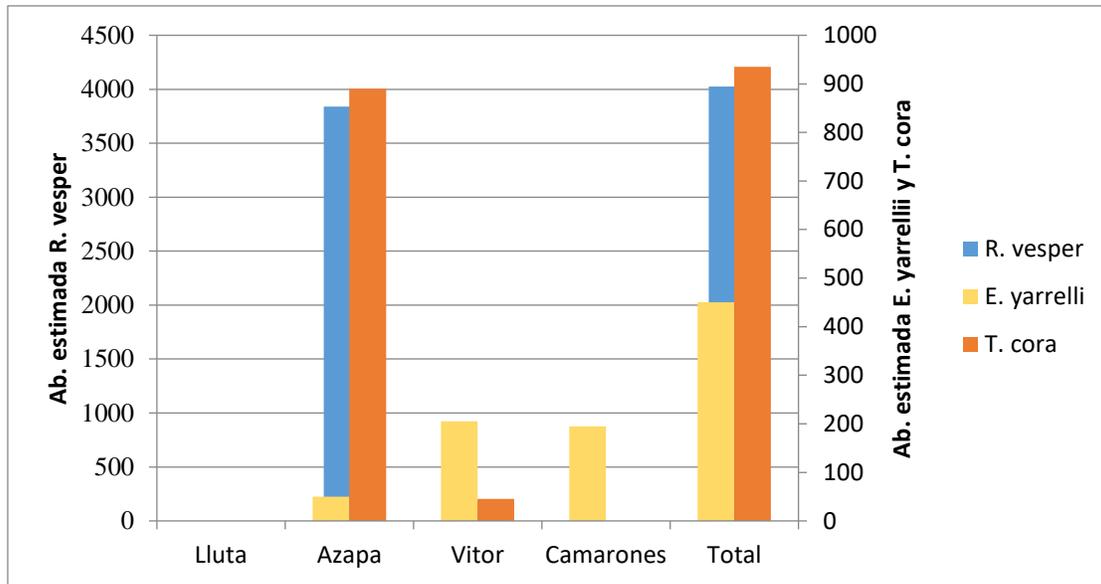


Gráfico n° 3. Abundancia estimada (intervalo de confianza al 90%) de picaflores en los valles del norte de Chile (primavera de 2016). Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenidos de AvesChile, 2016. “Picaflor de Arica (Eulidia yarrellii): piloto simulación de áreas lek, material de difusión página web y estimación poblacional año 2016”

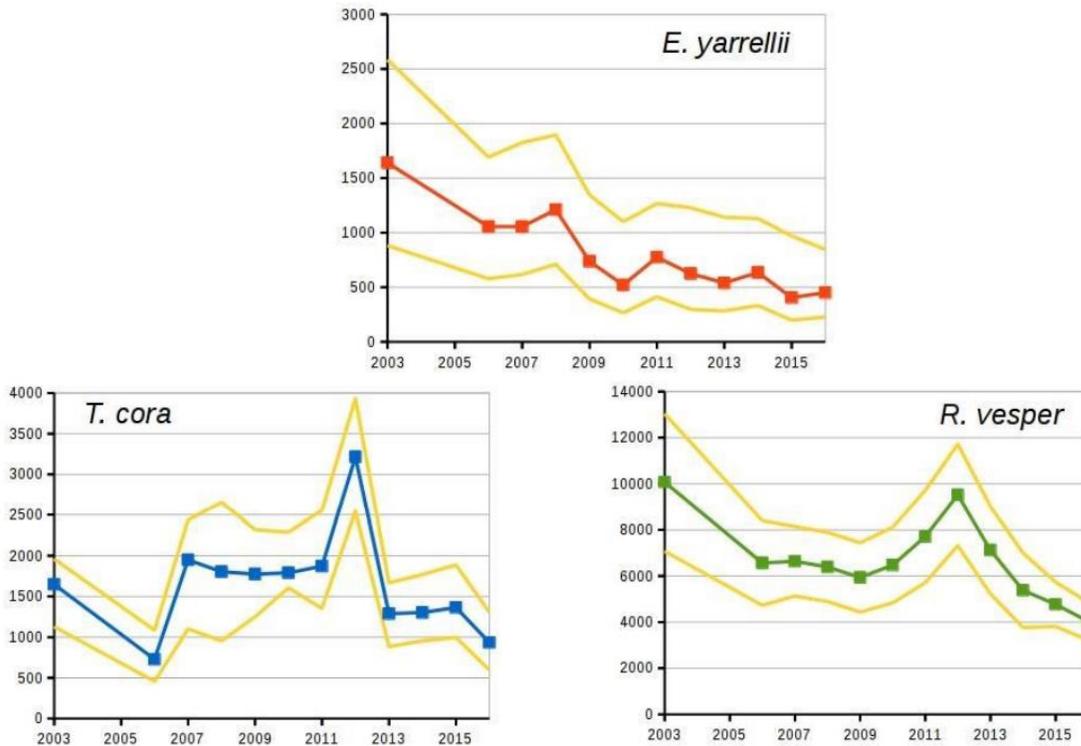


Figura n° 17. Tendencias poblacionales de picaflores en los valles de la región entre 2003 y 2016. Los datos incluyen la media estimada más el intervalo de confianza al 90% (líneas amarillas). Fuente: AvesChile, 2016. “Picaflor de Arica (Eulidia yarrellii): piloto simulación de áreas lek, material de difusión página web y estimación poblacional año 2016” p. 35.

Pero ¿a qué se deben estas bajas de población? Los autores coinciden en que las constantes intervenciones humanas en el territorio son la respuesta a esta interrogante, siendo el caso del valle de Azapa – lugar en que se registran los mayores descensos poblacionales – donde se identifica como posible responsable a las plantaciones agrícolas por parte de los pobladores, los cuales han llegado a utilizar incluso el cajón del río San José para sus cultivos, alterando con esto el ecosistema y contribuyendo además al deterioro de la flora nativa, llegando incluso a quemar los sitios que solían ser parte del territorio del Picaflor de Arica (Herreros de Lartundo, Tala & Estades, 2013). Y si bien estas prácticas también se llevan a cabo en el valle de Vítor, la intervención ha sido mucho menor y por ello se cree que la población del picaflor no ha disminuido de forma tan drástica como sucedió en el primer valle mencionado, mientras que, en el caso de Camarones, se ve un potencial importante para que el picaflor de Arica se desarrolle, por lo que hay preocupación por las prácticas antrópicas que se puedan ir desarrollando en dicho sector (Herreros de Lartundo, Tala & Estades, 2013), sobre todo para evitar un panorama como el vivido en el valle de Lluta, sitio en el cual se eliminó casi por completo al chañar, una de las fuentes fundamentales de alimento del picaflor de Arica y que los agricultores consideran como una maleza dañina para sus cultivos, y también se eliminaron otras especies arbóreas nativas, algo que llevó – o se cree – a que el picaflor abandonara el valle (Estades *et al.*, 2007).

Por otro lado, los cultivos de la zona norte del país, no solo contribuyeron al deterioro del territorio, sino que además se cree que el descenso de las poblaciones de *E. yarrellii* coincidieron con el aumento de pesticidas, especialmente en el valle de Azapa, tras la llegada de la mosca de la fruta (*Ceratitis capitata*), la cual fue detectada a principios de los '60 y que llevó a que el gobierno de turno implementara programas de erradicación y control de dicha especie, donde el principal químico utilizado tenía una base de malatión, el cual es considerado, en cierta medida, como tóxico para las aves, y otros químicos – aunque menos utilizados – en base a *dimethoate*, el cual es extremadamente tóxico y que además contamina el néctar de las flores (Estades *et al.*, 2007). A pesar de esto, no ha sido comprobado al 100% que el uso de pesticidas haya contribuido directamente al descenso del picaflor de Arica, quedando sólo como una de las hipótesis que manejan los investigadores.

Finalmente, la llegada del picaflor de Cora (*Thaumastura cora*), el cual tiene una apariencia física y un comportamiento similar al del picaflor de Arica, al valle de Azapa en 1971, podría haber contribuido también a que la población del picaflor de Arica disminuyese, lo que se atribuye, por ejemplo, a competencias por el alimento y defensa del territorio (Estades *et al.*, 2007).

4.2. Modelación de *E. yarrelii* y su competidor *T. cora*

4.2.1. Registros de presencia de especies a modelar.

A través de la información conseguida desde el Ministerio del Medio Ambiente y de la *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF), el total de registros de especies para toda la XV Región de Arica y Parinacota, es de 49 individuos para el picaflor de Arica y de 57 individuos para el picaflor de Cora, números que, como se ha mencionado con anterioridad, son considerados dentro de la cantidad óptima para realizar modelos con el software MaxEnt. Los registros, que se pueden visualizar en la figura n°18, demuestran que, en una primera instancia, ambas especies presentaron individuos en lugares similares, entre los que se destacan Arica y el Valle de Azapa en la zona norte de la región, y hacia el sur en los sectores de Chaca, Codpa y Camarones, aunque los registros del picaflor de Cora tienden a ser menores en comparación a los registros del picaflor de Arica, algo que coincidiría con lo presentado anteriormente sobre la concentración de población del picaflor de Cora en la zona de Azapa.

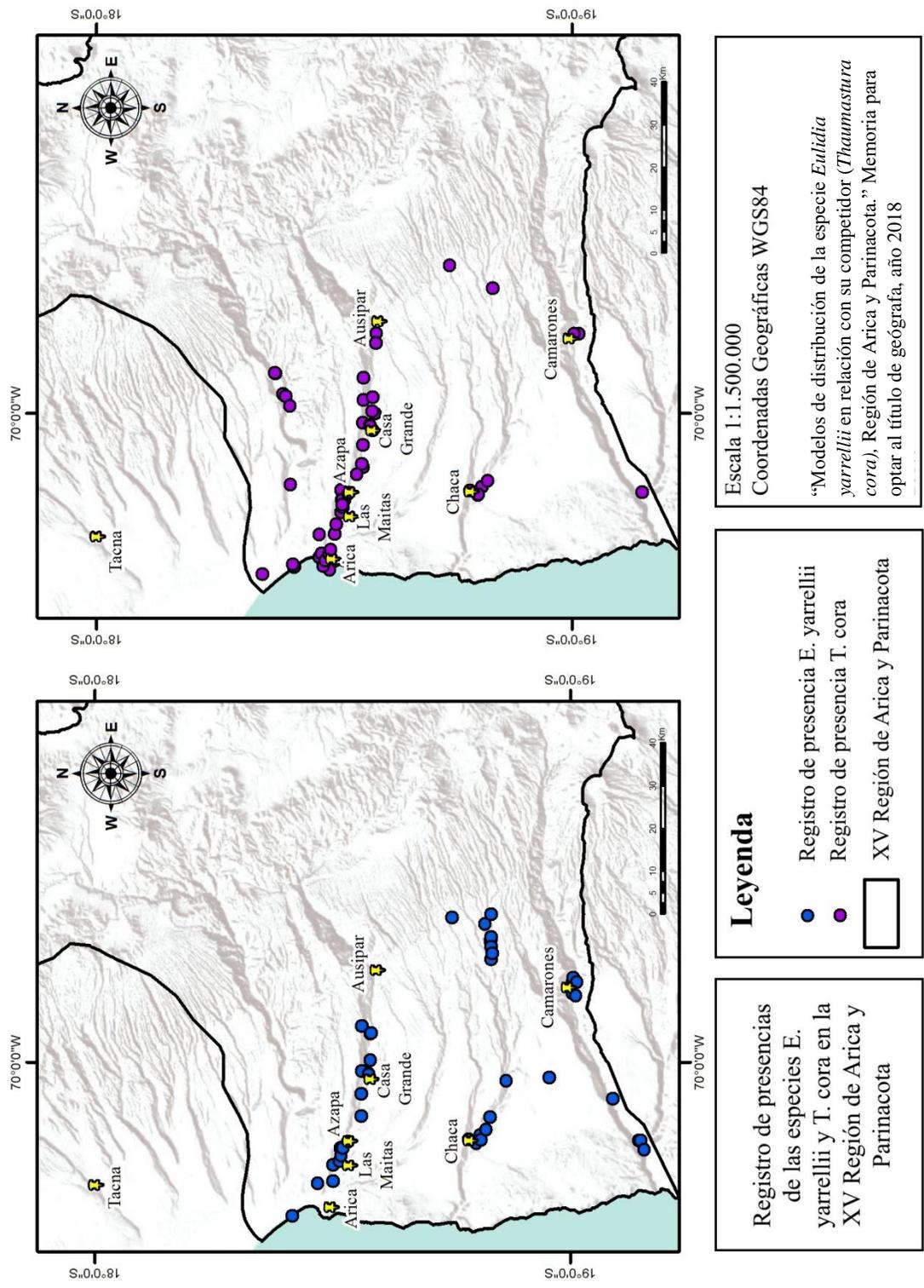


Figura n° 18. “Cartografía de los registros de presencia de *Eulidia yarrellii* y su competidor *Thaumastura cora* presentes en la región de Arica y Parinacota”. Fuente: elaboración propia en base a los registros de presencia obtenidos desde las bases de datos del Ministerio del Medio Ambiente y de la Global Biodiversity Information Facility.

Ahora bien, cuando sólo se consideran los registros del Valle de Azapa, el número de registros disminuye, siendo 21 para el picaflor de Arica y 29 para el picaflor de Cora.

En este caso, se consideraron todos aquellos registros que estuviesen en el área del Valle de Azapa o muy cercanos a ella basándose en el límite entregado por el shape de entidad rural, tal y como se muestra en la figura n°19.

El número de registros, si bien es casi la mitad de los registros obtenidos para toda la región, siguen quedando dentro de los parámetros para modelar en MaxEnt.

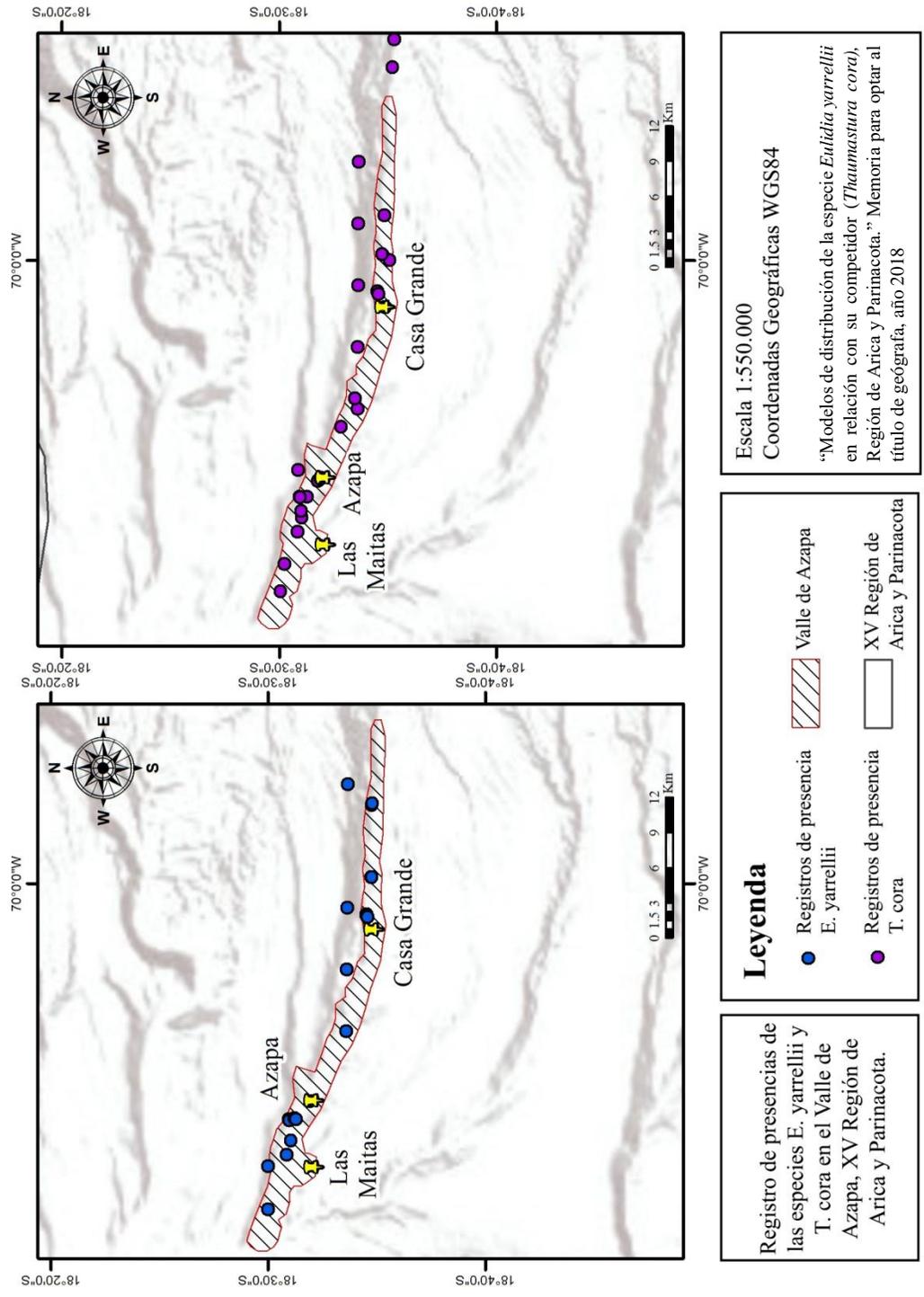


Figura n° 19. “Cartografía de los registros de presencia de *Eulidia yarrellii* y su competidor *Thaumastura cora* presentes en el Valle de Azapa, XV región de Arica y Parinacota”. Fuente: elaboración propia en base a los registros de presencia obtenidos desde las bases de datos del Ministerio del Medio Ambiente y de la Global Biodiversity Information Facility.

4.2.2. Modelos de distribución potencial de las especies *E. yarrellii* y *T. cora* para la XV Región de Arica y Parinacota.

Para la calibración del modelo, tal y como se mencionó en el capítulo 3, se definió que un 30% de los registros fueran utilizados para calibrar y validar el modelo, mientras que el 70% restante, fuera utilizado por el software para poder modelar.

Sumado a esto, se consideraron las variables bioclimáticas BIO1, BIO3, BIO4, BIO14 y BIO18 más la variable de distancia a los ríos (ver tabla n°12), las cuales fueron consideradas dada la baja correlación existente entre ellas y por cómo se relacionaban con la especie, como en el caso de la BIO18, que fue utilizada en vez de la BIO17 (Precipitación del trimestre más seco) dado que la especie estudiada – y tal como es mencionado en el capítulo 4.1 – tiene un desplazamiento hacia zonas por sobre los 2.000 msnm en los meses posteriores al invierno altiplánico, vale decir, cuando se está terminando el verano.

Código de la variable	Nombre y descripción de la variable
BIO1	Temperatura media anual, expresada en °C
BIO3	Isotermalidad (Bio2/Bio7)
BIO4	Variación estacional de la temperatura, expresada en °C
BIO14	Precipitación del mes más seco, expresada en milímetros
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido, expresada en milímetros.
Distancia a los ríos	Distancia aproximada a partir de 10 m desde el shape del río San José.

Tabla n° 12. “Variables bioclimáticas de Plischoff et al., 2014, utilizadas para la realización de los modelos de distribución para la especie *E. yarrellii* y *T. cora* respectivamente”. Elaboración propia en base a las abreviaciones usadas para variables bioclimáticas, obtenidas desde <http://www.ccafs-climate.org/downloads/docs/bioclimatic-variables.pdf>

4.2.2.1. Evaluación de los modelos de distribución potencial de las especies *E. yarrellii* y *T. cora* para la XV Región de Arica y Parinacota.

La evaluación del modelo para ambas especies (a través de la curva AUC), mostró resultados que, según la literatura, se clasifican como buenos o excelentes, dado que los valores alcanzaron los 0,959 para el picaflor de Arica y 0,960 para el picaflor de Cora, teniendo en consideración que se hicieron los respectivos modelos utilizando todos los registros disponibles para la Región de Arica y Parinacota.

El resultado, como se esperaba, mostró que la distribución potencial de ambas especies, y con las variables bioclimáticas escogidas, es muy similar, siendo las áreas idóneas para ambos picaflores, la zona de Arica y el Valle de Azapa (ver figura n°20).

En el caso del picaflor de Arica, se observa que existe una probabilidad media en la zona sur correspondiente al área de Camarones, la cual es superior a lo observable en el caso del picaflor de Cora, lo cual se podría explicar porque la cantidad de registros del picaflor de Arica en esa zona son mayores que los registros obtenidos para el picaflor de Cora, pero también puede complementarse con lo que dice la literatura respecto a que en Camarones

efectivamente existe un menor número de individuos de picaflor de Cora, lo cual hace posible que el desarrollo del picaflor de Arica, que antes no se encontraba en grandes números en esa zona sino que es más bien una población nueva, tenga mayores expectativas de tener éxito en su desarrollo en esa zona de la región.

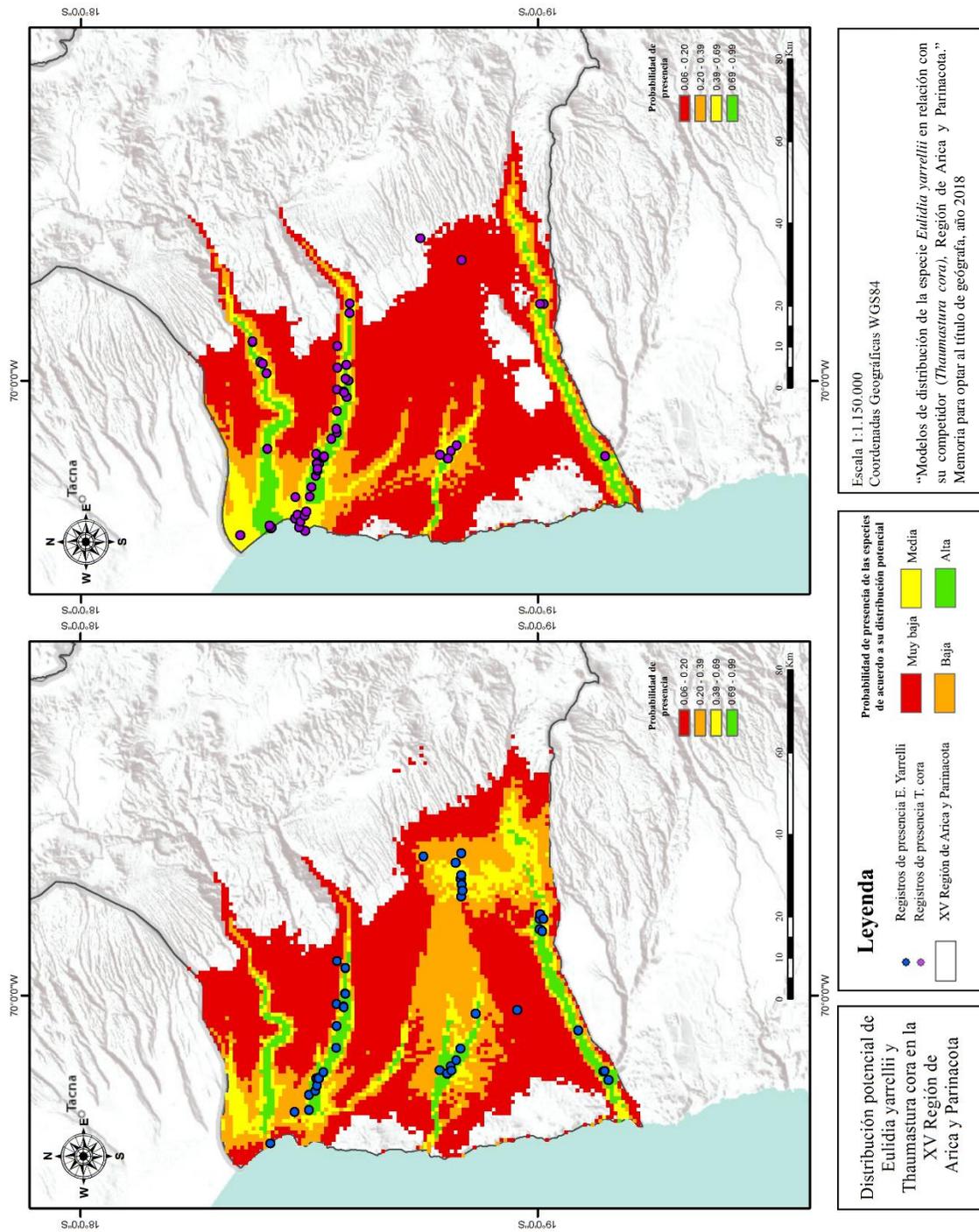


Figura n° 20. “Cartografía de la distribución potencial de *Eulidia yarrellii* y su competidor *Thaumastura cora* en la XV Región de Arica y Parinacota. Fuente: elaboración propia en base a los resultados entregados por el software MaxEnt de acuerdo a los registros de especies y variables bioclimáticas escogidas.

Estadísticamente, los números también muestran una correlación entre las áreas ocupadas por el picaflor de Arica y el picaflor de Cora, algo que queda plasmado a través de la prueba *t* para medias de dos muestras emparejadas, donde el valor crítico es $p > 0,05$ (3,18), vale decir, que no hay una diferencia significativa entre ambas especies. Gráficamente, las diferencias en el área total de cada especie en km² dependiendo de la potencialidad de ocupación, son mínimas. En el caso del picaflor de Arica, éste parece tener un pequeño aumento del área respecto al picaflor de Cora en las zonas de probabilidad potencial alta y media, siendo una diferencia de un 0,18 km² y 92,8 km² respectivamente. En el caso de las zonas de probabilidad potencial muy baja y en las zonas potenciales sin presencia, el picaflor de Cora es quien posee una superficie mayor a la del picaflor de Arica, siendo una diferencia de 219,7 km² en las áreas de muy bajo potencial de presencia y de 494,5 km² en el caso de las áreas potenciales sin presencia (ver gráfico n°4).

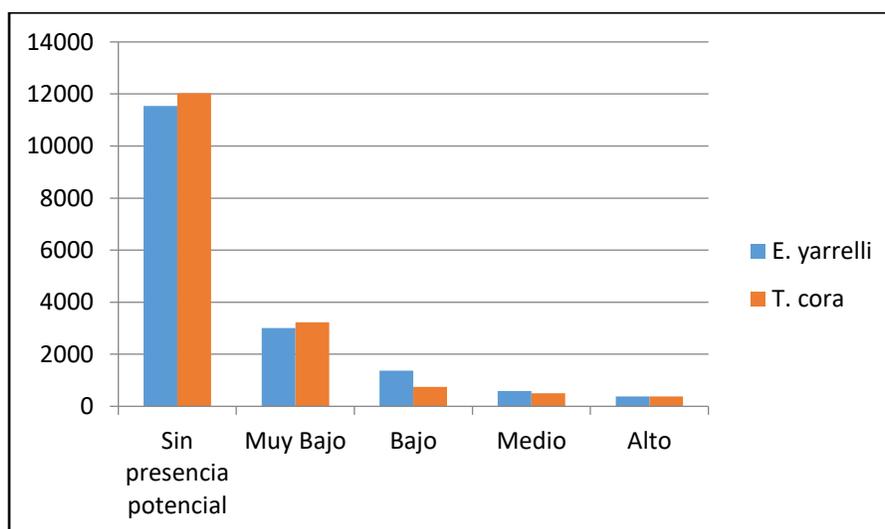


Gráfico n° 4. “Estimación del área ocupada en km² del E. yarrelli y T. cora para la Región de Arica y Parinacota de acuerdo al modelo de distribución de especies y el área potencial de presencia de cada especie”. Fuente: Elaboración propia en base a los datos entregados por el software *MaxEnt*.

Si se ve la relación entre las especies y las variables bioclimáticas utilizadas (ver gráfico n°5), se observa que, en el caso del picaflor de Arica, la variable que cobra mayor importancia es la BIO1 (referida a la T° media anual), seguida por la BIO18 (pp. del trimestre más cálido), mientras que, en el caso del picaflor de Cora, resulta el caso contrario, siendo la más predominante la BIO18 y seguida en segundo lugar por la BIO1. Dichas relaciones, se explicaron con anterioridad sobre la influencia que se estimaba podría tener la BIO18 sobre ambas especies.

Es importante destacar que, en el caso de la BIO14 (precipitación del mes más seco), la influencia que tuvo para ambas especies resulta en 0, y si bien esta variable fue escogida dada la poca correlación que tenía con las otras variables bioclimáticas evaluadas, en el modelo su influencia es nula.

A modo de prueba, también se realizaron modelos utilizando variables de precipitación, tales como la BIO17 y BIO19 para evaluar el nivel de influencia de cada una, demostrando que la distribución potencial en sí no tuvo variación, por lo que se estima que la influencia de la precipitación, exceptuando el caso de la BIO18, no parece causar un gran cambio en el potencial de distribución, sobre todo considerando que en la zona norte, las lluvias son escasas y sólo se producen en gran cantidad en el denominado invierno boliviano, y donde la especie *E. yarrellii* solo se ve influenciada en su migración en los meses posteriores a esta época, dada la floración que se produce en las zonas más altas.

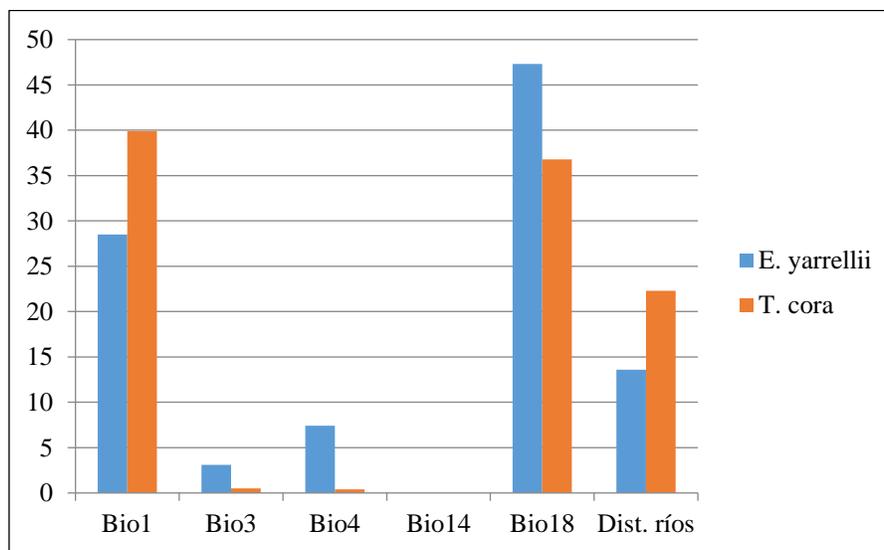


Gráfico n° 5. “Contribución porcentual de las variables bioclimáticas al modelado de *E. yarrellii* y *T. cora* para la Región de Arica y Parinacota”. Fuente: Elaboración propia en base a los datos entregados por el software MaxEnt.

Finalmente, si se observa el promedio que cada variable tiene respecto a los registros de ambas especies en la región, se observa que:

En el caso de los individuos de picaflor de Arica, en promedio la BIO1 (temperatura media anual) alcanza los 17,33°C, mientras que la BIO3 (isotermalidad) y BIO4 (variación estacional de temperatura), promedian 0,52°C y 18,74°C respectivamente, lo que combinado en términos de variables referidas sólo a temperatura, los registros de especies se mueven en el promedio de 12,2°C dentro de la región de Arica y Parinacota, con una mínima promedio de 8,3°C y una máxima promedio de 15,6°C. En cuanto a precipitación, al igual que sucedió en el caso anterior al ver las ponderaciones de cada variable, la BIO14 (precipitación del mes más seco) alcanza los 0 mm, mientras que la BIO18 (precipitación del trimestre más cálido) promedia 2,79 mm, lo que da un promedio total de 1,39 mm, con una mínima promedio de 0 mm y una máxima promedio de 16 mm.

Si se compara con los individuos del picaflor de Cora, las diferencias en promedio total de temperatura y precipitación no son muy diferentes. El promedio de temperatura es de 13,3°C, y en cuanto a precipitación, el promedio bordea los 0,89 mm, demostrando una vez más la

gran similitud que tienen ambas especies en cuanto a las condiciones climáticas (ver tabla n°13)

Variabes Bioclimáticas	Picaflor de Arica	Picaflor de Cora
BIO1	17,33°C	18,07°C
BIO3	0,52°C	0,52°C
BIO4	18,74°C	21,4°C
BIO14	0 mm	0 mm
BIO18	2,79 mm	1,78 mm
Promedio T°	12,2°C	13,33°C
Promedio Pp	1,39 mm	0,89 mm

Tabla n° 13. Promedios de las variables bioclimáticas respecto a los registros de especies de *Eulidia yarrellii* y *Thaumastura cora* en la Región de Arica y Parinacota. Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, cuando se ven los promedios de cada variable respecto al modelo de distribución, el picaflor de Arica presenta un promedio de temperatura de 11,3°C y un promedio de precipitación de 21,6 mm, promedios casi iguales a los presentados por el picaflor de Cora, donde la temperatura y precipitación alcanzan los 11,5°C y 20,3 mm respectivamente. Individualmente, cada variable bioclimática posee promedios similares entre ambas especies, destacando las variables BIO3, BIO4 y BIO14, donde la variación entre el picaflor de Arica y el picaflor de Cora es prácticamente nula (ver tabla n°14).

Variabes Bioclimáticas		Picaflor de Arica	Picaflor de Cora
BIO1	Mínimo	7,6°C	9,2°C
	Máximo	19,9°C	19,9°C
	Promedio	13,7°C	14,5°C
BIO3	Mínimo	0,4°C	0,4°C
	Máximo	0,6°C	0,6°C
	Promedio	0,5°C	0,53°C
BIO4	Mínimo	12,6°C	12,8°C
	Máximo	26,9°C	26,6°C
	Promedio	19,8°C	19,7°C
BIO14	Mínimo	0 mm	0 mm
	Máximo	0,5 mm	0,5 mm
	Promedio	0,25 mm	0,25 mm
BIO18	Mínimo	0 mm	0 mm
	Máximo	86,2 mm	81 mm
	Promedio	43,1 mm	40,5 mm
PROMEDIO T°		11,33°C	11,5833°C
PROMEDIO Pp		21,675 mm	20,375 mm

Tabla n° 14 Promedios de las variables bioclimáticas para los MDE de *Eulidia yarrellii* y *Thaumastura cora* en la Región de Arica y Parinacota. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, y cuando se evalúa de forma específica los promedios establecidos tanto de temperatura como de precipitación en la zona de mayor potencial de presencia tanto del picaflor de Arica como de Cora (ver tabla n°15), los promedios por variable son los siguientes: en el caso de la BIO1 el promedio es de 16,8°C (mínima de 13,7°C y máxima de 19,9°C), la BIO3 con un promedio de 0,52°C (con una mínima de 0,4°C y una máxima de 0,57°C), y la BIO4 con un promedio de 19,6°C (mínima de 12,9°C y máxima de 26,2°C). En el caso de las precipitaciones, el promedio de la BIO14 es de 0 mm y de 4,5 mm en el caso de la BIO18 (mínima de 0 mm y máxima de 9 mm) precipitaciones bajas si se compara con la máxima promedio de 260 mm presentes en el área con el potencial más bajo para que esté presente o que se distribuya el picaflor de Arica.

En el caso del picaflor de Cora y, como ha sucedido a lo largo de la investigación, los promedios también resultan similares, siendo: para la BIO1 un promedio de 17,6°C (mínima de 15,3°C y máxima de 19,9°C), la BIO3 con un promedio de 0,5°C (mínima de 0,4°C y máxima de 0,57°C) y la BIO4 con un promedio de 20°C (mínima de 13,2°C y máxima de 26,8°C). Las precipitaciones, en tanto, tienen un promedio de 0 mm en el caso de la BIO4 y de 5,5 mm en el caso de la BIO18 (mínima de 0 mm y máxima de 11 mm), donde nuevamente, el promedio entre el área de mayor potencial de ocurrencia versus el de menor potencial de ocurrencia, tienen una diferencia significativa, dado que el promedio de precipitación del área con menor potencial alcanza los 130 mm.

VARIABLES BIOClimáticas	Picaflor de Arica	Picaflor de Cora
BIO1	16,8°C	17,6°C
BIO3	0,52°C	0,52°C
BIO4	19,60°C	20,04°C
BIO14	0 mm	0 mm
BIO18	4,5 mm	5,5 mm

Tabla n° 15 Promedios de las variables bioclimáticas para las áreas de mayor potencial de presencia de las especies en los MDE de *Eulidia yarrellii* y *Thaumastura cora* en la Región de Arica y Parinacota. Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.2. Evaluación de los modelos de distribución potencial de las especies *E. yarrellii* y *T. cora* en el Valle de Azapa.

En esta ocasión, el número de registros fue menor que en el caso anterior, dado que el área de estudio quedó restringida al Valle de Azapa. En el caso del picaflor de Arica, fueron 21 registros y 29 registros para el picaflor de Cora, y se mantuvo el porcentaje de prueba, donde las curvas AUC para ambas especies, tuvieron buenos resultados, demostrando de esta forma que MaxEnt tiene un buen rendimiento con un número restringido de registros. En este caso, la curva AUC del picaflor de Arica fue de 0,984 y el del picaflor de Cora fue 0,986.

Se debe tener en claro que la delimitación del Valle se realizó en función de la capa encontrada de forma online sobre el límite rural del Valle de Azapa, y de acuerdo con esta delimitación, se realizó tanto la modelación como los posteriores sets de mapas.

Teniendo esto en consideración, se observa en la figura n°21 que el modelo de distribución potencial para ambas especies resulta prácticamente igual e incluso las probabilidades de ocurrencia presentan valores similares, lo que, como se explicó en el caso anterior, se condice con lo planteado en la literatura sobre el comportamiento de ambas especies en el Valle de Azapa.

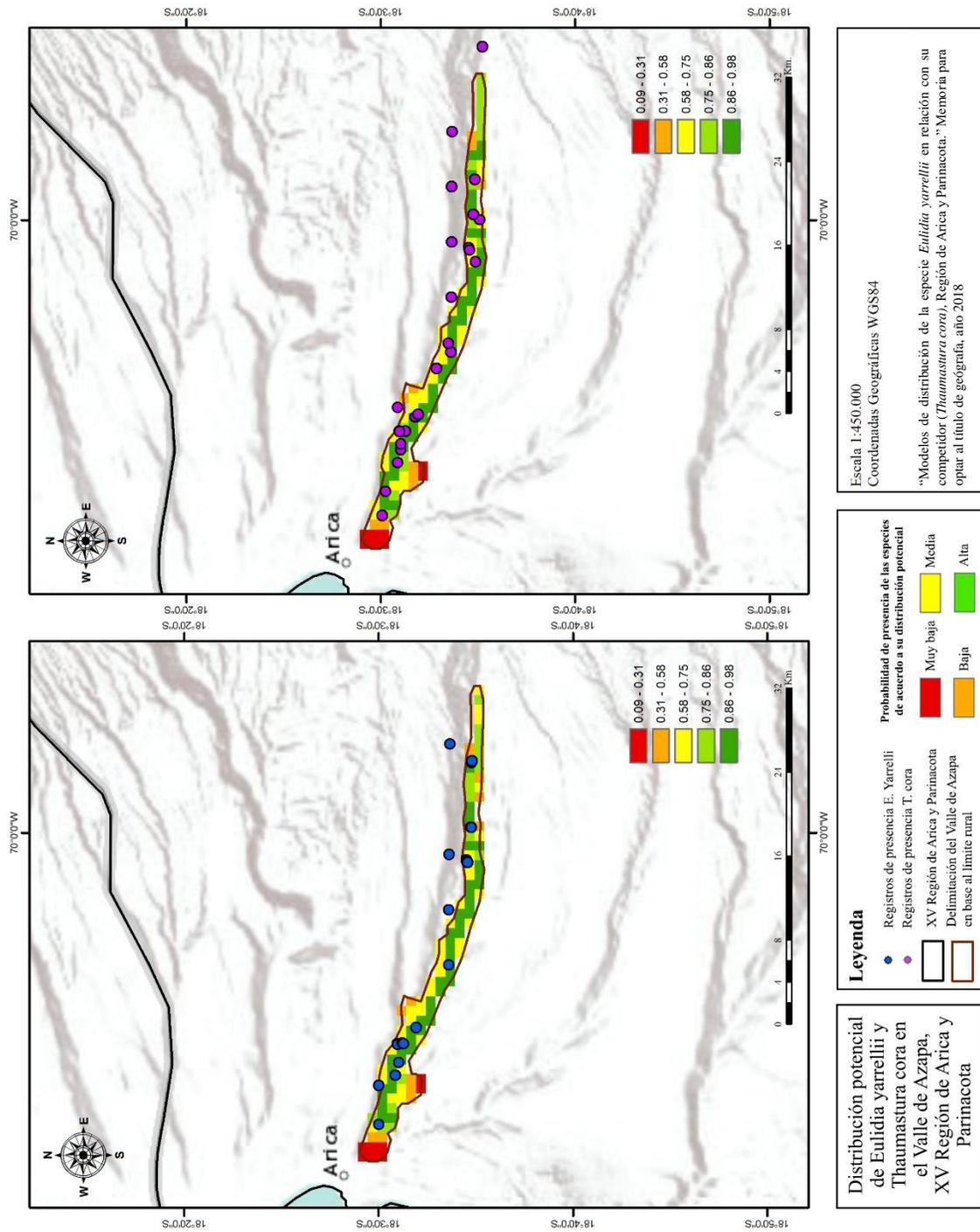


Figura n° 21. “Cartografía de la distribución potencial de *Eulidia yarrellii* y su competidor *Thaumastura cora* en el Valle de Azapa, XV Región de Arica y Parinacota. Fuente: elaboración propia en base a los resultados entregados por el software MaxEnt de acuerdo a los registros de especies y variables bioclimáticas escogidas.

Y si bien los registros de especies y las variables utilizadas fueron adaptados y restringidos al área considerada para el Valle de Azapa, el software MaxEnt realizó una distribución que consideró otras áreas de la región, siendo en la zona norte las cuencas del Río Lluta y de la Quebrada de la Concordia, y en la zona sur la cuenca de la Quebrada del Río Camarones, algo similar a lo que ocurrió en la distribución potencial anterior, pero que deja fuera la zona de Vítor.

Estadísticamente, las diferencias entre ambas especies son ligeramente diferente del caso anterior en el cual el área considerada por los modelos es mayor, y la realización de la prueba *t* demuestra nuevamente que no existe una diferencia significativa entre ambas especies ($p > 0,05$; 2,77), mientras que, gráficamente, el picaflor de Cora posee un área con un alto potencial de ocurrencia mayor que en el caso del picaflor de Arica (posee 2,43 km²), aunque en general, y considerando el potencial de ocurrencia medio, bajo y muy bajo, el picaflor de Arica lidera, con 4,65 km² más que el picaflor de Cora, aunque en términos prácticos, la diferencia entre una y otra especie, como se ha comentado anteriormente, es mínima.

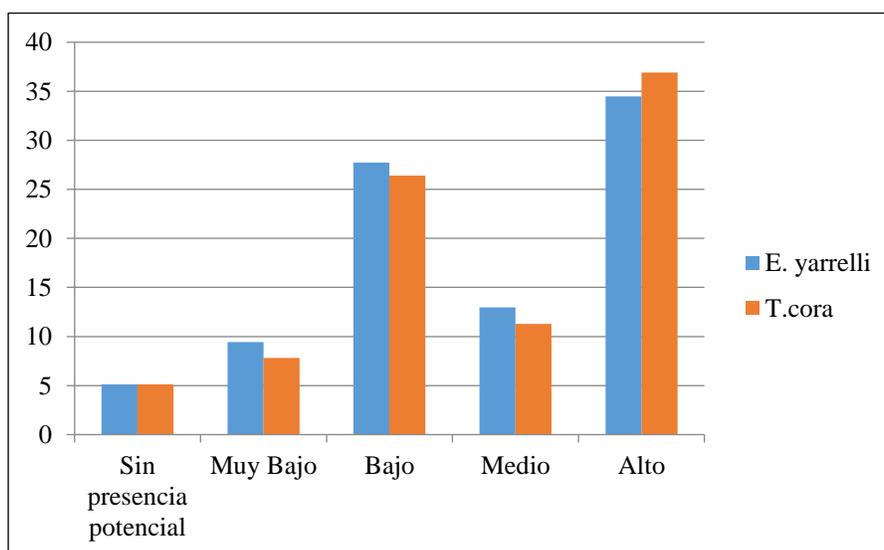


Gráfico n° 6. “Estimación del área ocupada en km² del E. yarrelli y T. cora para el Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota, de acuerdo al modelo de distribución de especies y el área potencial de presencia de cada especie”. Fuente: elaboración propia en base a los datos entregados por el software MaxEnt.

Por otro lado, la ponderación de las variables bioclimáticas cambió, quedando la variable de distancia a los ríos en primer lugar para ambas especies, mientras que las variables BIO1 y BIO18 quedan en el segundo lugar dependiendo de la especie: para el caso del picaflor de Arica, la BIO1 tiene mayor importancia – de acuerdo a los porcentajes – que para el picaflor de Cora (donde queda como tercera variable de importancia), mientras que el caso contrario pasa con la BIO18, que queda en segundo lugar para el picaflor de Cora pero en tercer lugar para el picaflor de Arica. La variable de distancia a los ríos, la más importante para ambas especies, puede explicarse por la restricción del área de estudio y donde la distancia al río (en este caso, el río San José) resulta ser menor que cuando se evalúa el modelo para toda la

región. De hecho, cuando se mira el modelo de distribución, el área con una mayor probabilidad de presencia se encuentra prácticamente en la zona por donde pasa el río San José.

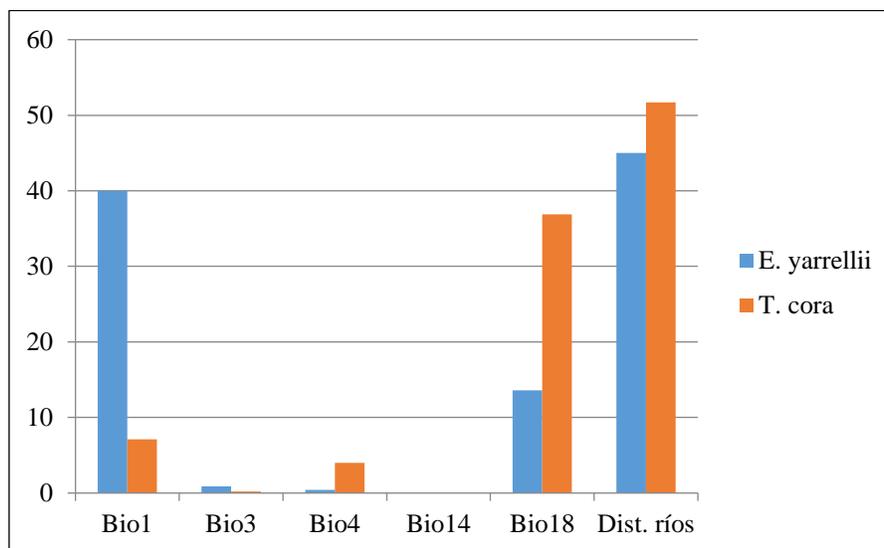


Gráfico n° 7. “Contribución porcentual de las variables bioclimáticas al modelado de E. yarrellii y T. cora para el Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota”. Fuente: elaboración propia en base a los datos entregados por el software MaxEnt.

En cuanto a los registros de especies, en el caso del picaflor de Arica (con un total de 20 registros), éstos se mueven en un promedio de temperatura de 13,5°C y un promedio de precipitaciones de 0,06 mm. En el caso del picaflor de Cora (con un total de 29 registros) el promedio de temperatura y precipitación son similares, alcanzando 13,7°C y 0 mm respectivamente. En cuanto a las variables bioclimáticas, tanto para el picaflor de Arica como para el picaflor de Cora, los promedios varían levemente en los casos de la BIO1 y BIO4 – en cuanto a temperatura – y un pequeño cambio en la BIO18 – en el caso de las precipitaciones – tal y como se observa en la tabla n°16)

Variabes Bioclimáticas	Picaflor de Arica	Picaflor de Cora
BIO1	18,51°C	18,68°C
BIO3	0,52°C	0,52°C
BIO4	21,49°C	22,07°C
BIO14	0 mm	0 mm
BIO18	0,12 mm	0 mm
Promedio T°	13,51°C	13,76°C
Promedio Pp	0,06 mm	0 mm

Tabla n° 16. Promedios de las variables bioclimáticas respecto a los registros de especies de *Eulidia yarrellii* y *Thaumastura cora* en el Valle de Azapa. Fuente: Elaboración propia.

En el caso del modelo en el Valle de Azapa, existen cambios sutiles respecto a lo presentado en el modelo para la Región, aunque entre ambas especies, sigue existiendo una similitud importante tanto de temperatura como de precipitación, tal y como se esperaba. En el caso del picaflor de Arica, la temperatura promedio es de 13,6°C y la precipitación promedio es de 0,375 mm, mientras que, en el modelo del picaflor de Cora, la temperatura promedio ni siquiera alcanza a descender un grado, siendo en promedio 13,5°C y, en cuanto a las precipitaciones, el picaflor de Cora solo tiene un leve aumento, alcanzando un promedio de 0,437 mm.

Si se compara individualmente cada variable (ver tabla n° 17), en el caso del picaflor de Arica, el promedio de la BIO1 es de 18,4°C, la BIO3 es de 0,51°C y la BIO4 con 22,2°C. En el caso de las variables de precipitación, la BIO14 y BIO18 alcanzan promedios de 0 mm y 0,75 mm respectivamente, demostrando que, en el área de estudio, el picaflor tiende tal y como se describió anteriormente, a no estar presente en condiciones de mucha lluvia, sino que más bien, se mueve luego que éstas se producen para buscar alimento. En el caso del picaflor de Cora, nuevamente coinciden los promedios, donde la BIO1 tiene un promedio de 18,3°C, la BIO3 con 0,52°C promedio y la BIO4 con 21,9°C, mientras que las variables de precipitación también promedian 0 mm en el caso de la BIO14 y 0,87 mm en el caso de la BIO18.

Variables Bioclimáticas		Picaflor de Arica	Picaflor de Cora
BIO1	Mínimo	17,4°C	17,3°C
	Máximo	19,4°C	19,4°C
	Promedio	18,45°C	18,3°C
BIO3	Mínimo	0,5°C	0,5°C
	Máximo	0,53°C	0,53°C
	Promedio	0,51°C	0,52°C
BIO4	Mínimo	19,4°C	18,8°C
	Máximo	24,9°C	24,9°C
	Promedio	22,2°C	21,9°C
BIO14	Mínimo	0 mm	0 mm
	Máximo	0 mm	0 mm
	Promedio	0 mm	0 mm
BIO18	Mínimo	0 mm	0 mm
	Máximo	1,5 mm	1,75 mm
	Promedio	0,75 mm	0,87 mm
PROMEDIO T°		13,68°C	13,57°C
PROMEDIO Pp		0,375 mm	0,4375 mm

Tabla n° 17 Promedios de las variables bioclimáticas para los MDE de *Eulidia yarrellii* y *Thaumastura cora* en el Valle de Azapa. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, cuando se evalúa de acuerdo a la probabilidad de mayor presencia del picaflor de Arica dentro del Valle de Azapa, los promedios ideales por variable serían: 18°C en el caso de la BIO1 (mínima de 16,6°C y máxima de 19,4°C), 0,52°C en promedio para la BIO3

(mínima de 0,51°C y máxima de 0,54°C) y 20,8°C en el caso de la BIO4 (mínima de 16,9°C y máxima de 24,8°C). En el caso de las precipitaciones, el promedio de la BIO14 es de 0 mm y en el caso de la BIO18 es de 1,5 mm (mínima de 0 mm y máxima de 3 mm). Y, como era de esperar dado lo presentado en el modelo, donde coinciden casi a la perfección las áreas donde ambos picaflores tienen una probabilidad de mayor presencia, los promedios tanto mínimos como máximos del picaflor de Cora, son los mismos que los del picaflor de Arica.

4.2.2.3. Evaluación de los modelos de distribución potencial de las especies *E. yarrellii* y *T. cora* en la Cuenca del Río San José.

Otro modelo de distribución desarrollado en esta memoria se basó en el área comprendida por la cuenca del río San José, como una forma de abarcar un área más amplia que la abarcada por el Valle de Azapa, permitiendo de esta forma tener una visión diferente de la zona norte de la región, menos restringida – visualmente – en comparación al modelo que sólo considera la angosta cobertura del Valle por sí solo.

En este caso, el número de registros para el picaflor de Arica se mantuvo en 21, mientras que, para el picaflor de Cora, aumentaron hasta los 37 registros. A su vez, las variables bioclimáticas, así como la variable de distancia a los ríos, fueron modificadas para esta nueva área evaluada, basándose en el límite de la cuenca del río San José.

Las curvas AUC para ambas especies, nuevamente se encontraron dentro de las categorías de “bueno” a “excelente”, reafirmando que el software MaxEnt funciona muy bien para una baja cantidad de registros, siendo la curva AUC para el picaflor de Arica 0,97 y de 0,96 para el picaflor de Cora.

A diferencia de los dos casos anteriores, la distribución entre ambas especies presenta cambios. Esto puede explicarse dado el mayor número de presencias de picaflor de Cora versus el número de presencias del picaflor de Arica para la misma área – especialmente en la zona más cercana a la costa, en la ciudad de Arica (ver figura n°22) – aunque el área potencial de distribución es bastante similar, nuevamente siguiendo el curso del río San José y, en el caso del picaflor de Cora, con una probabilidad media a baja más cercana a la zona de la ciudad de Arica. Como dice la literatura (Estades *et al.*, 2007 por ejemplo), el picaflor de Cora tiende a ocupar las partes bajas del valle, en las zonas residenciales que poseen un alto suplemento de flores durante el año, mientras que el picaflor de Arica tiende a localizarse en las partes medias del valle, en las zonas agrícolas y por ende, en las zonas expuestas a pesticidas – lo que podría ser otra causante que el picaflor de Arica se esté extinguiendo, hipótesis que no será tratada en esta memoria –.

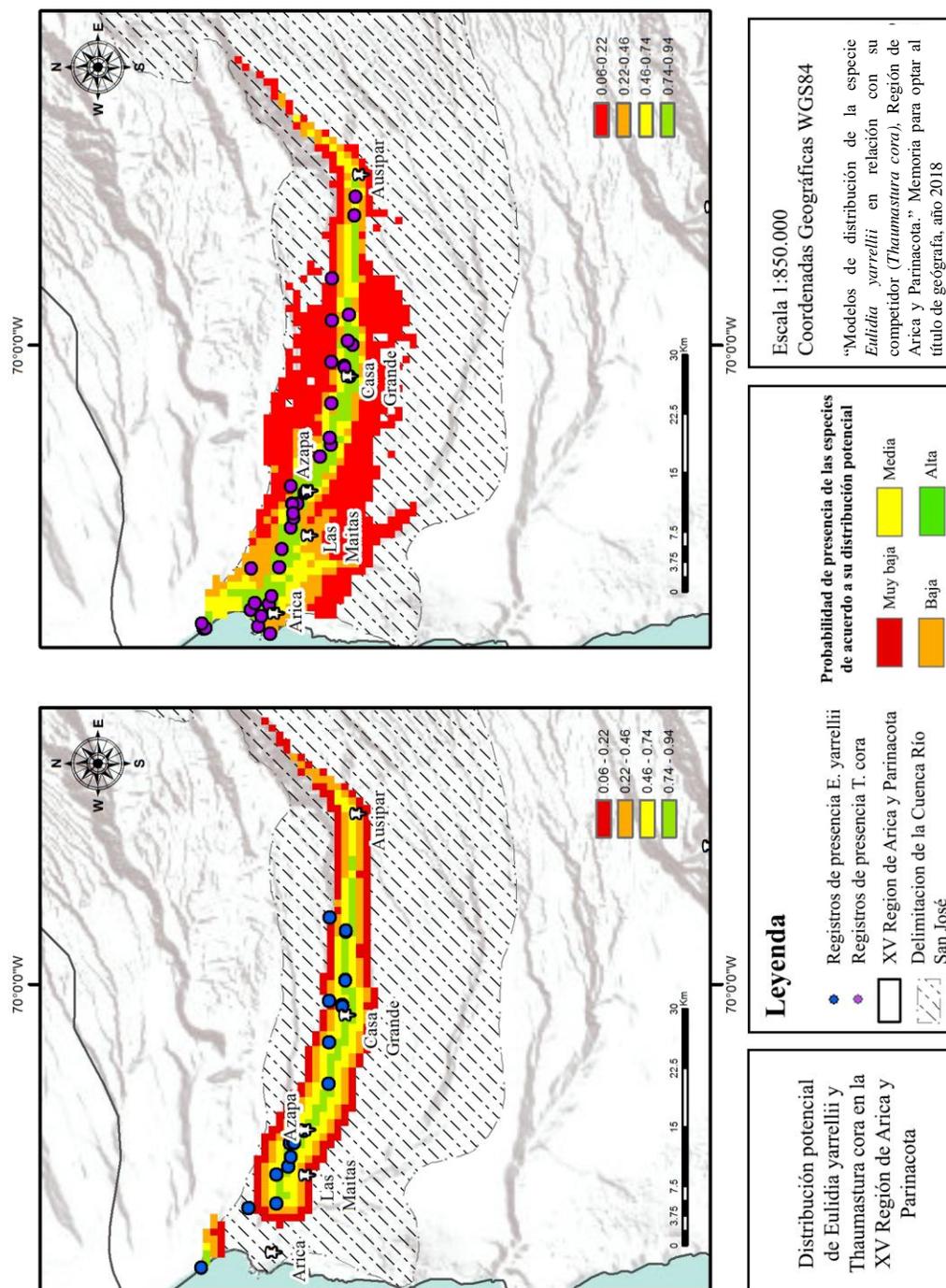


Figura n° 22. “Cartografía de la distribución potencial de Eulidia yarrellii y su competidor Thaumastura cora en la Cuenca del Río San José, XV Región de Arica y Parinacota. Fuente: elaboración propia en base a los resultados entregados por el software MaxEnt de acuerdo a los registros de especies y variables bioclimáticas escogidas.

La ponderación de variables también tiene un cambio importante. Si bien la distancia de los ríos es la variable que cobra mayor importancia para el picaflor de Arica – tal vez dada la localización más hacia el centro del Valle de Azapa -, la variable BIO1 resulta ser la de mayor importancia para el picaflor de Cora. Mientras, las variables BIO3, BIO4 y BIO14, parecen no tener influencia para el picaflor de Arica, con un porcentaje del 0%, mientras que, en el caso del picaflor de Cora, la BIO3 alcanza un pequeño porcentaje de influencia (3,3%), aunque siguen siendo, como en los casos anteriores, la BIO18 y la distancia a los ríos, las más importantes a la hora de modelar.

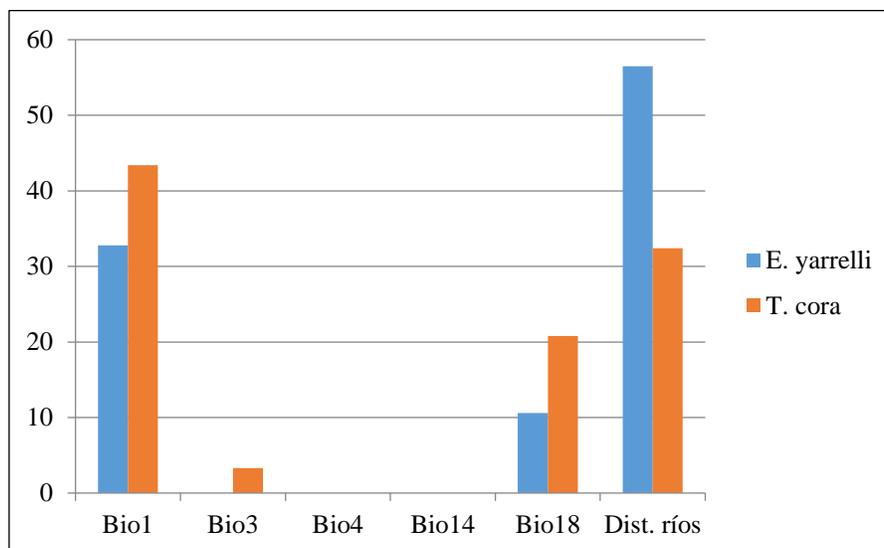


Gráfico n° 8. “Contribución porcentual de las variables bioclimáticas al modelado de E. yarrelli y T. cora para la cuenca del Río San José”. Fuente: elaboración propia en base a los datos entregados por el software MaxEnt.

En el caso de los registros presentes en la cuenca San José, el picaflor de Arica tiene un promedio de temperatura de 13,3°C y un promedio bastante bajo de precipitación, que alcanza apenas los 0,2 mm, situación que, como se ha visto a lo largo de esta memoria, resulta similar en cuanto se le compara con su competidor, el cual se mueve en un promedio de temperatura de 13,6°C y 0,34 mm de precipitación.

En cuanto a los valores respecto a las diferentes variables, el picaflor de Arica promedia 18,1°C para la BIO1, 0,5°C para la BIO3 y 21,4°C para la BIO4, mientras que, en el caso de las precipitaciones, el promedio de la BIO14 es de 0 mm (como se ha visto repetidamente en los diversos escenarios) y 0,5 mm para el caso de la BIO18. Por su parte, el picaflor de Cora tiene una variación casi nula, con 18,3°C en promedio para la BIO1, 0,5°C para la BIO3 y 22°C para el caso de la BIO4, mientras que, en el caso de las precipitaciones, el promedio es de 0 mm para la BIO14 y 0,6 mm para el caso de la BIO18 (ver tabla n° 18)

VARIABLES BIOClimáticas	Picaflor de ARICA	Picaflor de CORA
BIO1	18,11°C	18,31°C
BIO3	0,52°C	0,52°C
BIO4	21,44°C	22,04°C
BIO14	0 mm	0 mm
BIO18	0,57 mm	0,69 mm
Promedio T°	13,36°C	13,62°C
Promedio Pp	0,28 mm	0,34 mm

Tabla n° 18. Promedios de las variables bioclimáticas respecto a los registros de especies de *Eulidia yarrellii* y *Thaumastura cora* en la Cuenca del Río San José. Fuente: Elaboración propia.

En el caso del modelo de la Cuenca San José, las temperaturas promedio tanto para el picaflor de Arica como para el picaflor de Cora, nuevamente resultan similares, siendo 12,8°C para el picaflor de Arica y 12,6°C para el otro. En el caso de las precipitaciones, el patrón se repite, promediando el picaflor de Arica una precipitación de 5,4 mm y el picaflor de Cora un promedio de 5,05 mm, teniendo un promedio máximo en la BIO18 con 20,2 mm, un poco más bajo que el promedio máximo del picaflor de Arica, el cual alcanza los 21,75 mm en la misma variable. En cuanto a temperatura, el máximo más alto en promedio se alcanza con la BIO4 (variación estacional de temperatura), donde el picaflor de Arica alcanza el promedio de 26,1°C y, en el caso del picaflor de Cora, llega a los 25,9°C (ver tabla n°19).

Variables Bioclimáticas		Picaflor de Arica	Picaflor de Cora
BIO1	Mínimo	14,6°C	14°C
	Máximo	19,8°C	19,4°C
	Promedio	17,2°C	16,7°C
BIO3	Mínimo	0,5°C	0,4°C
	Máximo	0,54°C	0,5°C
	Promedio	0,52°C	0,52°C
BIO4	Mínimo	15,6°C	15,5°C
	Máximo	26,1°C	25,9°C
	Promedio	20,9°C	20,7°C
BIO14	Mínimo	0 mm	0 mm
	Máximo	0 mm	0 mm
	Promedio	0 mm	0 mm
BIO18	Mínimo	0 mm	0 mm
	Máximo	21,75 mm	20,2 mm
	Promedio	10,8 mm	10,1 mm
PROMEDIO T°		12,857°C	12,6167°C
PROMEDIO Pp		5,4375 mm	5,05 mm

Tabla n° 19 Promedios de las variables bioclimáticas para los MDE de *Eulidia yarrellii* y *Thaumastura cora* en la Cuenca del Río San José. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, tal y como se realizó con los modelos anteriores, cuando se evalúan los promedios considerando las áreas con un potencial mayor de distribución, el picaflor de Arica tiene un promedio de 18,2°C (mínima de 16,6°C y máxima de 19,8°C) en el caso de la BIO1, en el caso de la BIO3 alcanza los 0,5°C (0,51°C de mínima y 0,54°C de máxima) y en el caso de la BIO4 el promedio es de 21,3°C (mínima de 16,3°C y máxima de 26,3°C). En cuanto a las precipitaciones, la BIO14 promedia 0 mm y la BIO18 alcanza un promedio de 5 mm (mínima de 0 mm y máxima de 10 mm). Ahora bien, los valores varían sutilmente en el caso del picaflor de Cora, teniendo promedios de 17,8°C en la BIO1 (mínima 15,8°C y máxima 19,8°C), la BIO3 se mantiene con 0,5°C (mínima de 0,5°C y máxima de 0,55°C) y la BIO4 alcanza un promedio de 21,1°C (mínima de 15,9°C y máxima de 26,3°C).

Variables Bioclimáticas	Picaflor de Arica	Picaflor de Cora
BIO1	18,2	17,8
BIO3	0,525	0,525
BIO4	21,375	21,145
BIO14	0	0
BIO18	5	3,5

Tabla n° 20. Promedios de las variables bioclimáticas para las áreas de mayor potencial de presencia de las especies en los MDE de *Eulidia yarrellii* y *Thaumastura cora* en la cuenca del Río San José. Fuente: Elaboración propia.

4.3. El cambio de uso de suelo en el Valle de Azapa, XV región de Arica y Parinacota.

La región de Arica y Parinacota y los valles fértiles que la componen, se destacan por las condiciones climáticas consideradas como idóneas para variados cultivos, destacando el grupo de las hortalizas, los frutales y las forrajeras. Son estas plantaciones agrícolas las que son consideradas por algunos autores, como responsables del descenso del número de individuos del picaflor de Arica, dado que alteran el ecosistema y contribuyen al deterioro de la flora nativa (Herrerros de Lartundo, Tala & Estados, 2013).

Respecto a esto, se realizó un levantamiento de uso de suelo en un período de 20 años, comprendido desde el año 1995 hasta el año 2015 para evaluar si realmente hubo o no un aumento en el área cultivada en el Valle de Azapa.

4.3.1. Análisis del cambio de uso de suelo entre los años 1995 y 2005: los diez primeros años.

A través de la fotointerpretación de imágenes satelitales, se realizó una estimación de los usos de suelos en cinco categorías diferentes: (i) plantaciones (áreas agrícolas heterogéneas), (ii) árboles (cultivos permanentes), (iii) tierra arable (tierra arable), (iv) tierra sin presencia de vegetación o estructuras urbanas (espacios abiertos con poca o nula vegetación) y (v) zona urbana (tejido urbano).

Para el año 1995, se calcula que aproximadamente el 2% de la superficie contaba con algún registro de plantación, mientras que el 18% tenía superficie ocupada con árboles – entendiéndose que se consideraron plantaciones de árboles y no aquellos utilizados como ornamentación en plazas o casas-habitación –, y un 16% es considerado superficie arable, entendiéndose en este caso, que se consideró todo aquel terreno que, a través de la fotointerpretación, presentó marcas de cultivo o tierra con arado marcado pero que, al momento de evaluarla, no presentaba vegetación suficiente como para ser considerada dentro del grupo de plantaciones. Estos tres complementos, suman un total de 36% que puede ser considerado como una superficie con algún grado de ocupación agrícola en el Valle de Azapa.

Por su parte, el 64% fue considerado como tierra s/p, vale decir, sin presencia de vegetación o estructuras urbanas, y un 0,16% como zona urbana.

Porcentaje de Uso de Suelo en el Valle de Azapa, año 1995

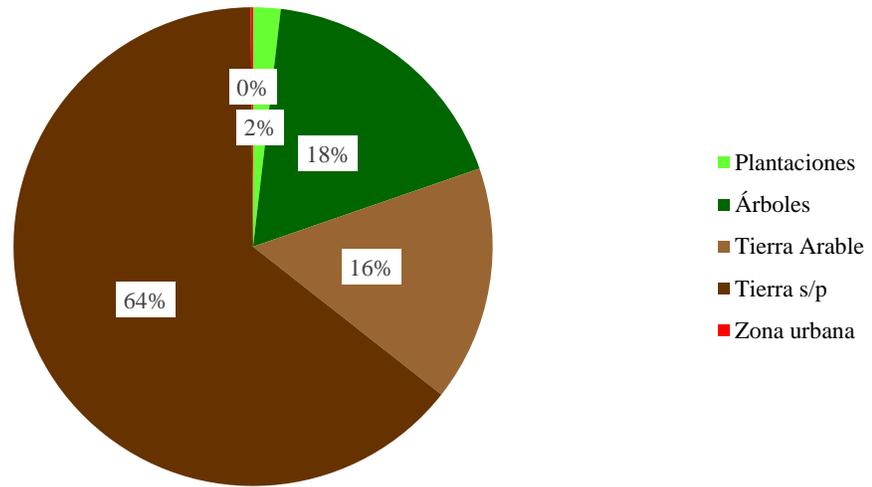


Gráfico n° 9. “Porcentajes de Uso de Suelo en el Valle de Azapa, año 1995”. Fuente: Elaboración propia de acuerdo con la información obtenida a través del software ArcGis 10.4.1.

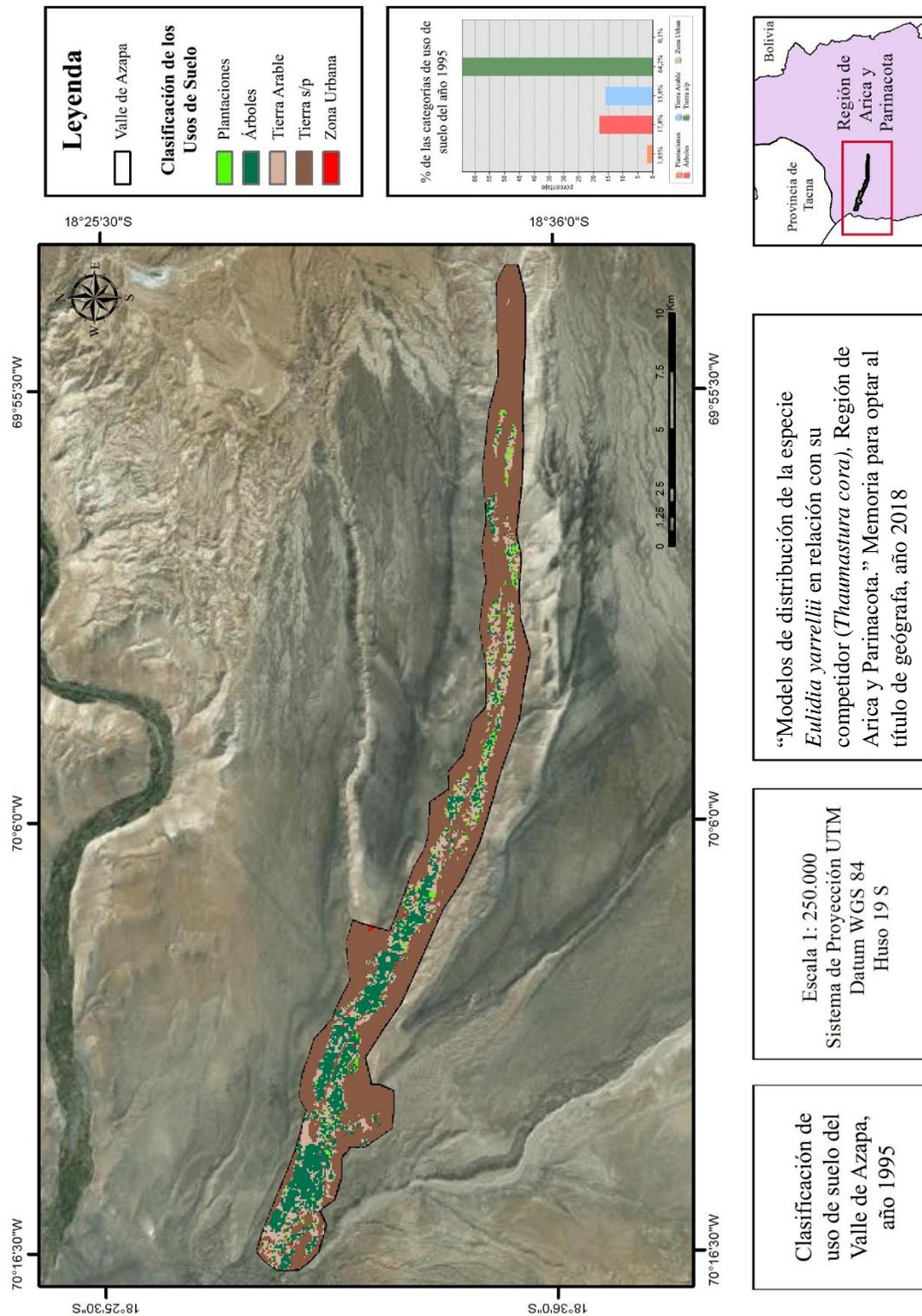


Figura n° 23. "Clasificación de Uso de Suelo en el Valle de Azapa, año 1995". Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2005, en tanto, los números aumentan considerablemente. En el caso de las plantaciones, éstas aumentan hasta alcanzar un 26% del total de la superficie del Valle de Azapa, mientras que los árboles caen a un 8% y la tierra arable a un 9%, pudiendo estimar que parte de esa superficie perdida por los grupos anteriormente mencionados, tuvo un cambio hacia plantaciones. El total de superficie destinada hacia la producción agrícola o frutícola alcanza el 43% del total de la superficie, mientras que la superficie de tierra sin presencia de vegetación o estructuras urbanas disminuye en un 7% respecto al año 1995, quedando con un 57% de la superficie total.

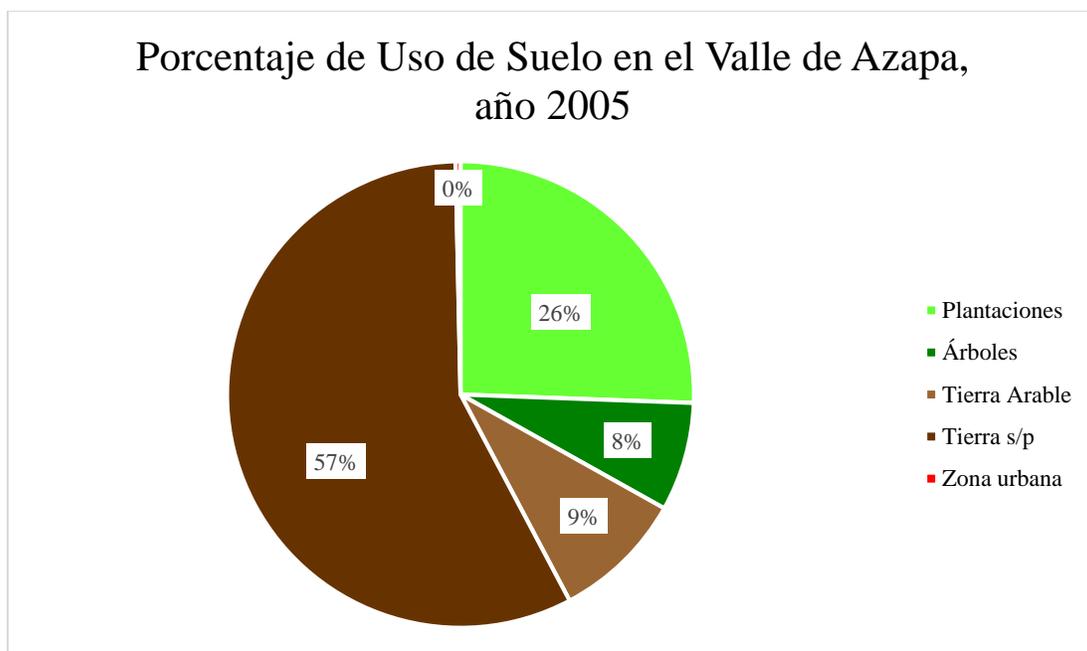


Gráfico n° 10. "Porcentajes de Uso de Suelo en el Valle de Azapa, año 2005". Fuente: Elaboración propia de acuerdo con la información obtenida a través del software ArcGis 10.4.1.

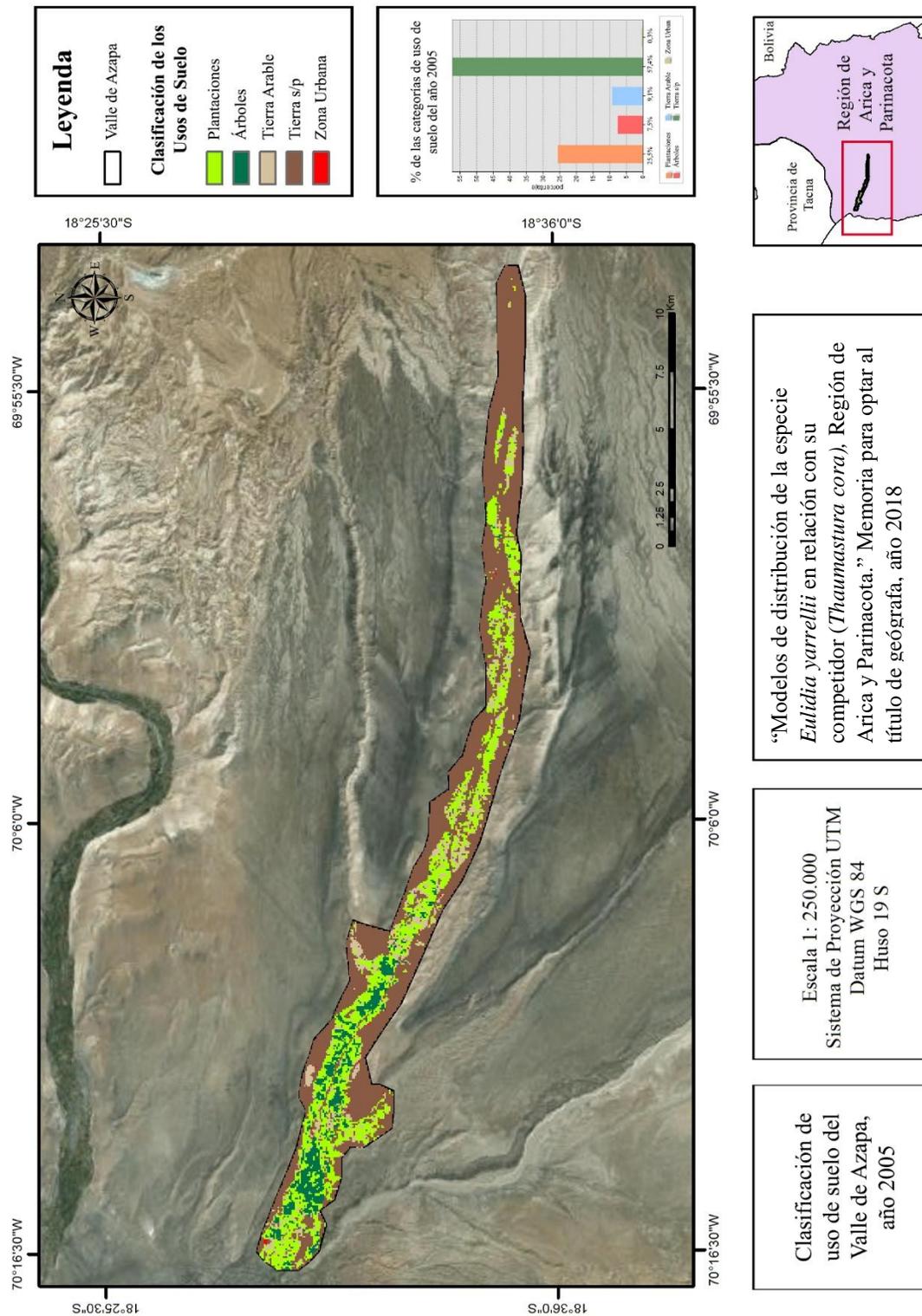


Figura n° 24. "Clasificación de Uso de Suelo en el Valle de Azapa, año 2005". Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, cuando se considera la matriz de cambios para poder evidenciar cuánta superficie cambió o se mantuvo en la categoría predicha, se observa que entre el año 1995 y el año 2005, un 42% de la superficie cambió – lo que queda demostrado con los datos anteriormente descritos, estableciendo que el mayor cambio se produjo en el aumento de la superficie utilizada para plantaciones –, mientras que un 58% se mantuvo en su categoría en los primeros 10 años, atribuyendo esta cantidad a la tierra sin presencia de vegetación o estructuras urbanas (lo que queda demostrado claramente en la figura n°25).

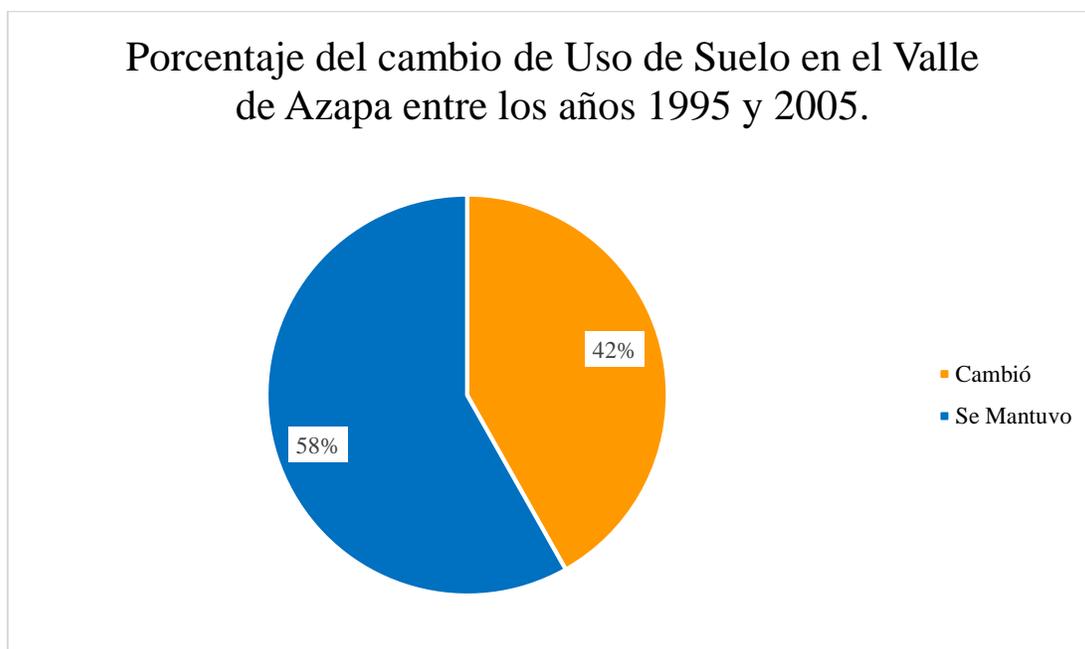


Gráfico n° 11. “Porcentajes de cambio de Uso de Suelo en el Valle de Azapa entre los años 1995 y 2005”. Fuente: Elaboración propia de acuerdo con la información obtenida a través del software ArcGis 10.4.1.

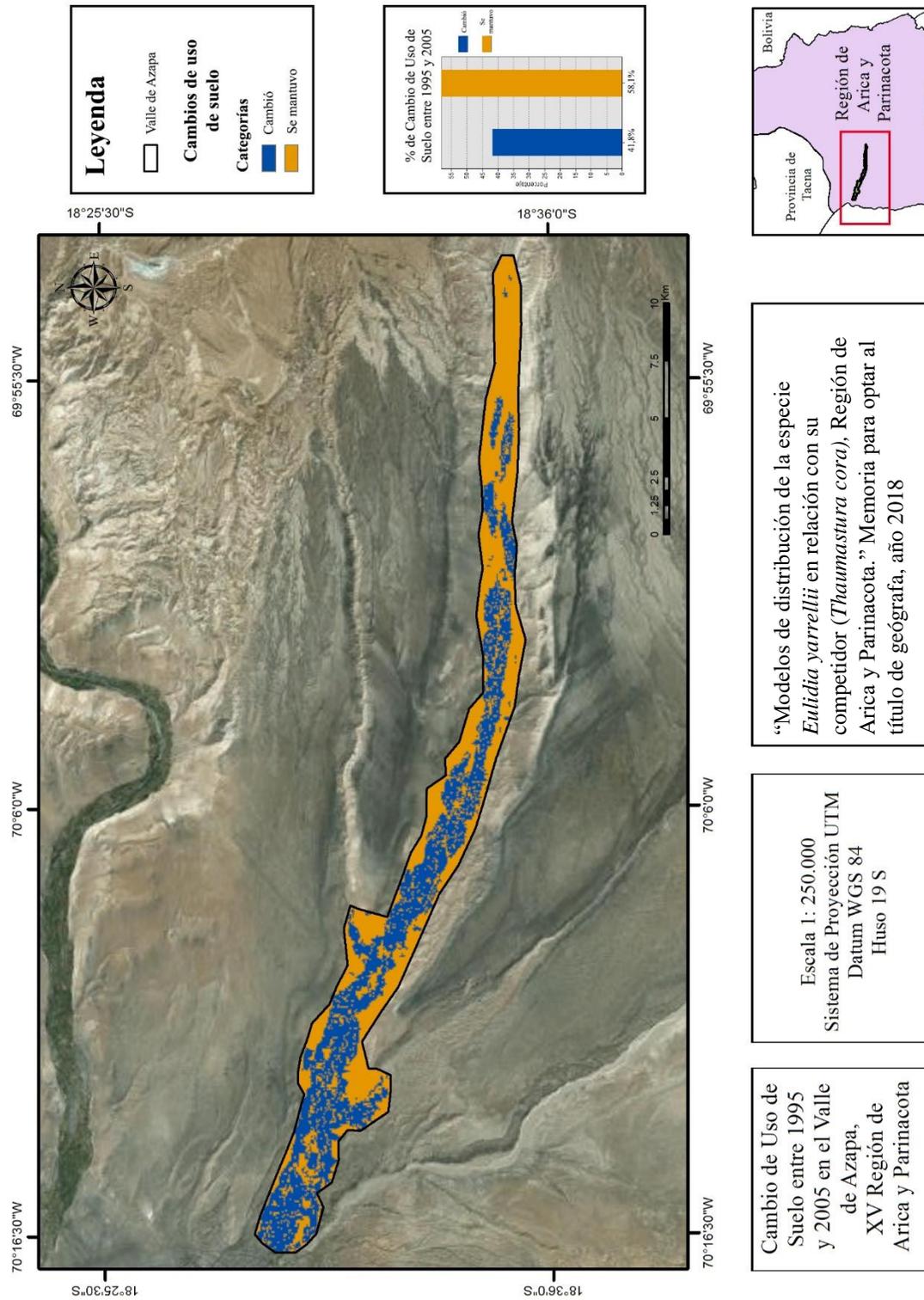


Figura n° 25. "Porcentaje de cambio de Uso de Suelo entre los años 1995 y 2005 en el Valle de Azapa, XV Región de Arica y Parinacota". Fuente: Elaboración propia.

Considerando la matriz de cambios, el que se lleva el mayor porcentaje sin cambios, es la tierra s/p¹ (50,8%), seguido por el cambio de uso de árboles hacia plantaciones (8,03%), el cambio de tierra arable hacia plantaciones (7,08%), y la tierra s/p hacia plantaciones (6,96%), lo que se condice con el gráfico anterior del año 2005 donde el porcentaje de tierra utilizada para plantaciones aumentó respecto a lo presentado en el año 1995. Los valores de cambio negativo, en tanto, fueron los del cambio de zona urbana hacia cultivo (0,03%), de plantaciones hacia árboles (0,08%), de zona urbana hacia tierra arable (0,01%), y de zona urbana hacia árboles (0,01%), algo que se esperaba dado que las probabilidades que una zona urbana cambie hacia otro uso son prácticamente nulas. El detalle de los cambios se puede ver en el gráfico n° 12.

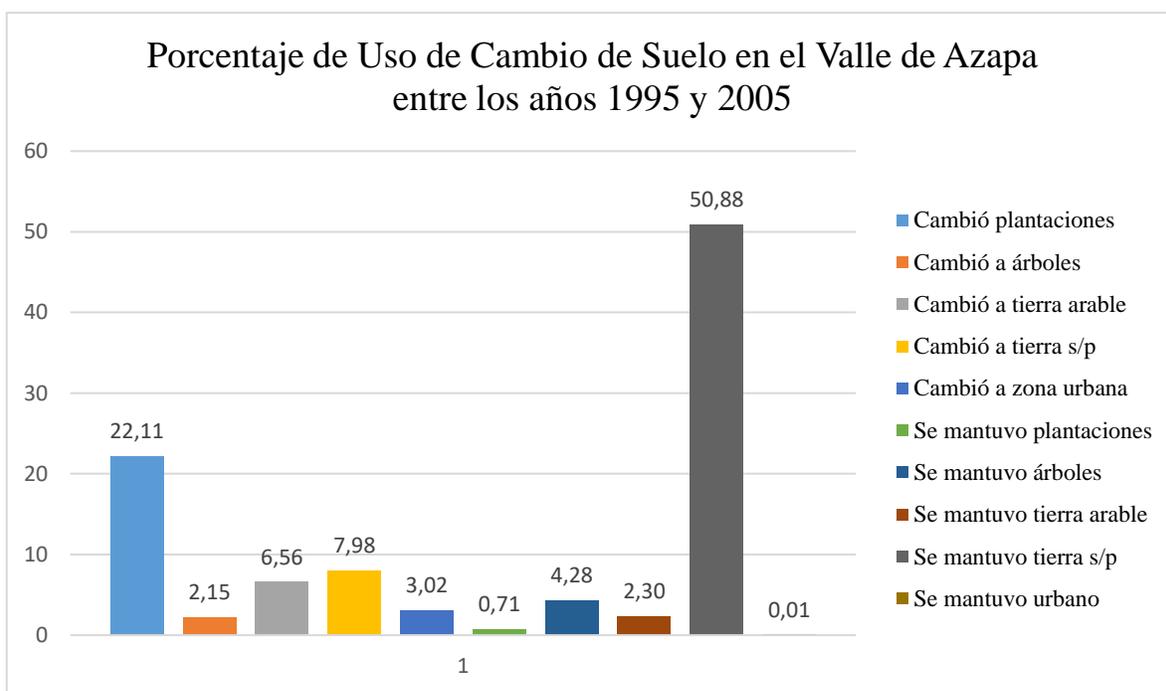


Gráfico n° 12. “Porcentaje de cambio de Uso de Suelo en el Valle de Azapa entre los años 1995 y 2005 según las ponderaciones de la matriz”. Fuente: elaboración propia de acuerdo con la información obtenida a través del software ArcGis 10.4.1.

¹ Tierra s/p: Tierra sin presencia de vegetación o estructuras urbanas (espacios abiertos con poca o nula vegetación).

En términos más específicos, los cambios de acuerdo con la matriz anteriormente mencionada son los siguientes:

Tipo de cambio	Porcentaje (%)	Cantidad en m ²
De árboles a plantaciones	8,03	7.059.080
De tierra arable a plantaciones	7,09	6.228.480
De tierra s/p a plantaciones	6,96	6.122.170
De zona urbana a plantaciones	0,03	26.247
De plantaciones a árboles	0,08	71.894
De tierra arable a árboles	1,29	1.137.420
De tierra s/p a árboles	0,77	675.276
De zona urbana a árboles	0,01	8.749
De plantaciones a tierra arable	0,37	326.169
De árboles a tierra arable	1,80	1.584.350
De tierra s/p a tierra arable	4,38	3.846.720
De zona urbana a tierra arable	0,01	8.749
De plantaciones a tierra s/p	0,59	518.496
De árboles a tierra s/p	3,28	2.878.900
De tierra arable a tierra s/p	4,04	3.555.140
De zona urbana a tierra s/p	0,07	59.359
De plantaciones a zona urbana	0,14	122.486
De árboles a zona urbana	0,59	517.920
De tierra arable a zona urbana	0,92	807.364
De tierra s/p a zona urbana	1,37	1.204.680
Se mantuvo plantaciones	0,71	625.392
Se mantuvo árboles	4,28	3.761.480
Se mantuvo tierra arable	2,30	2.017.580
Se mantuvo tierra s/p	50,88	44.728.200
Se mantuvo zona urbana	0,01	8.749
Total	100	87.901.050

Tabla n° 21. “Tipo de cambio de uso de suelo en el Valle de Azapa entre los años 1995 y 2005 según las ponderaciones de la matriz”. Fuente: elaboración propia de acuerdo con la información obtenida a través del software ArcGis 10.4.1.

4.3.2. Análisis del cambio de uso de suelo entre los años 2005 y 2015.

En el caso del año 2015, los porcentajes varían levemente entre la tierra utilizada para la combinación de plantaciones, árboles y tierra arable versus la tierra s/p, donde el primero abarca el 51% y la tierra s/p un 49%, una diferencia respecto al año 2005 de un 8% en ambos grupos. El porcentaje de tierra urbana, en tanto, permanece prácticamente igual, dada la poca importancia que se le da a la clasificación de este grupo para todo el período de tiempo establecido.

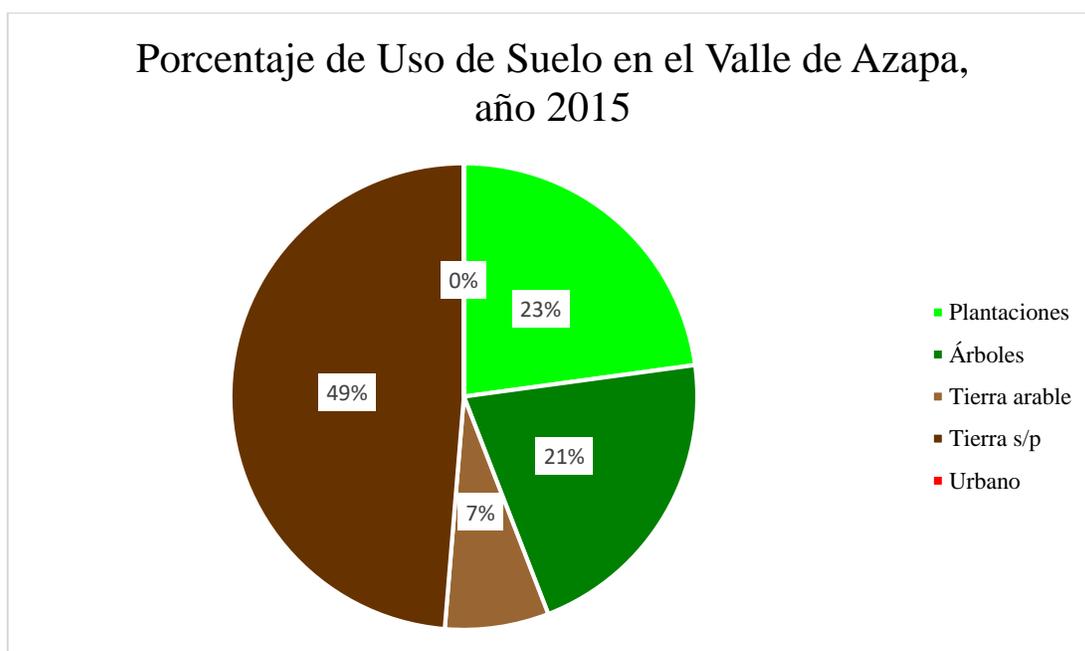


Gráfico n° 13. “Porcentajes de Uso de Suelo en el Valle de Azapa, año 2015”. Fuente: Elaboración propia de acuerdo con la información obtenida a través del software ArcGis 10.4.1.

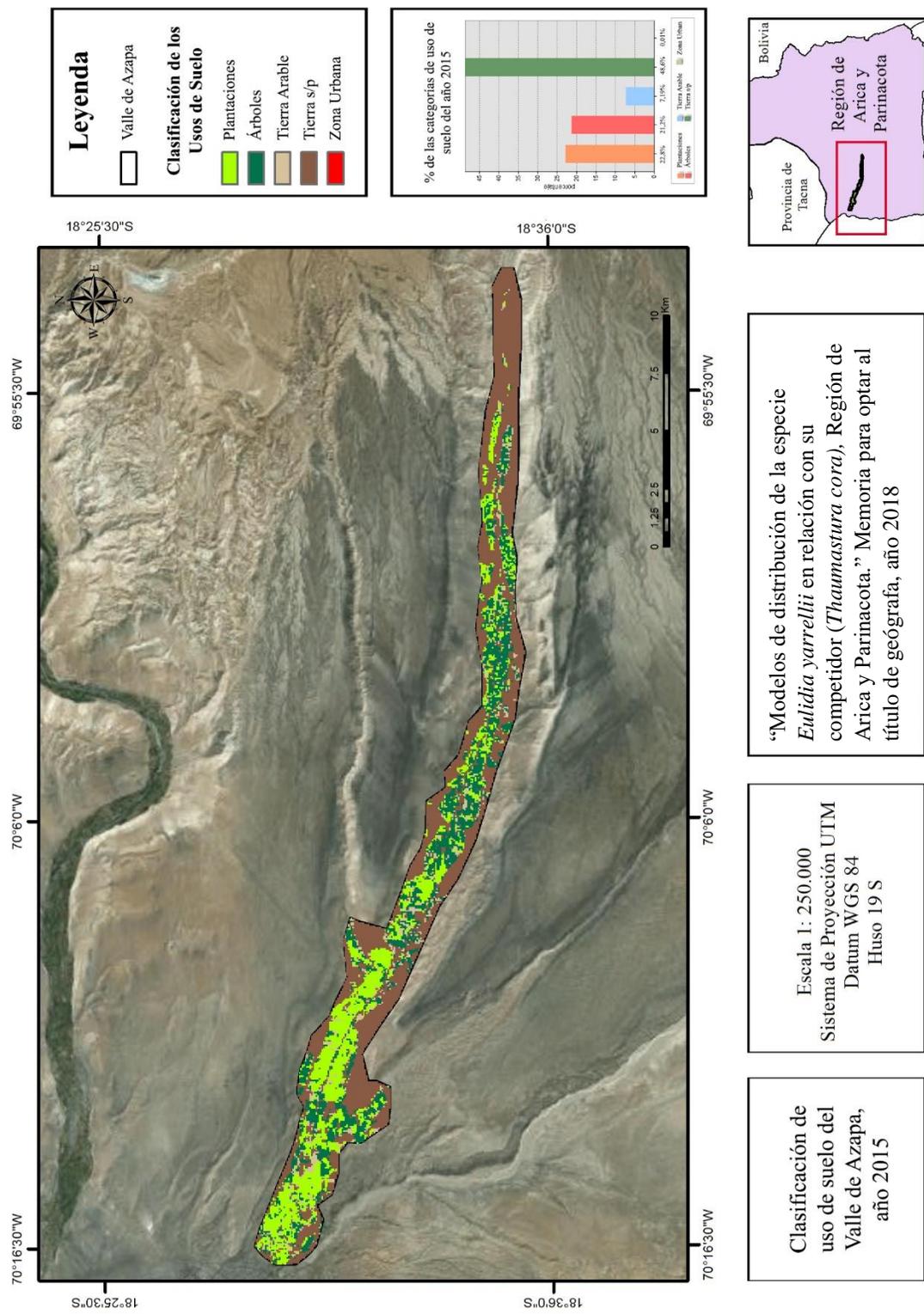


Figura n° 26. "Clasificación de Uso de Suelo en el Valle de Azapa, año 2015". Fuente: Elaboración propia.

Mientras tanto, el porcentaje de suelo que cambió entre los años 2005 y 2015 fue de aproximadamente un 46% - atribuible a los cambios antes mencionados entre la combinación de plantaciones, tierra arable y árboles – mientras que el 54% que se mantiene, se atribuye principalmente a la tierra que se mantuvo desocupada (tierra s/p).

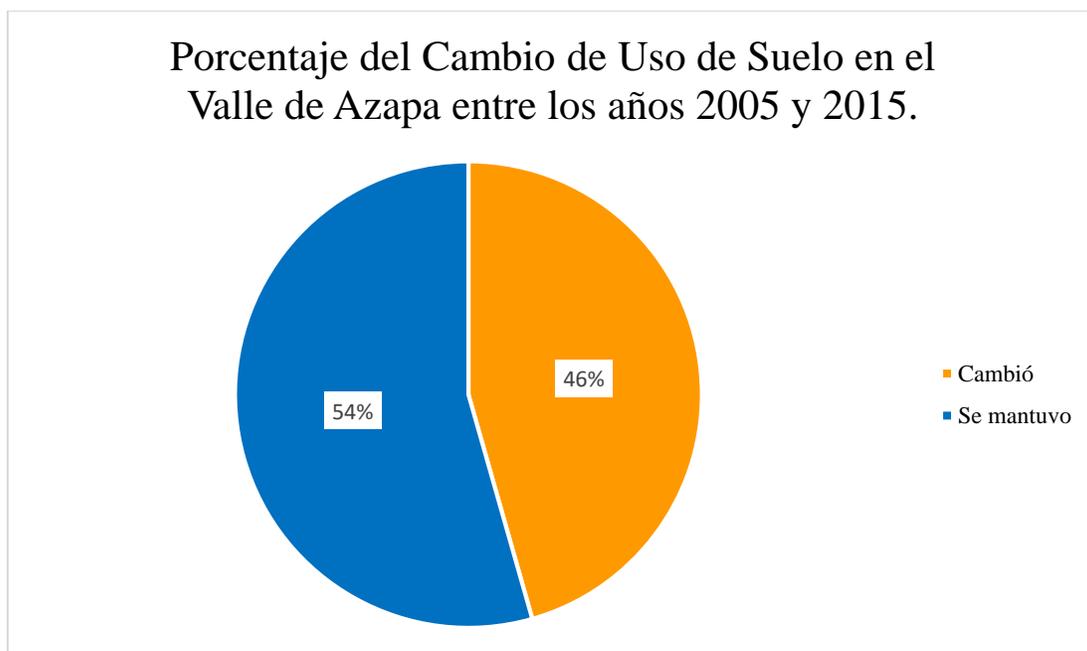


Gráfico n° 14. “Porcentajes de cambio de Uso de Suelo en el Valle de Azapa entre los años 2005 y 2015”. Fuente: Elaboración propia de acuerdo con la información obtenida a través del software ArcGis 10.4.1.

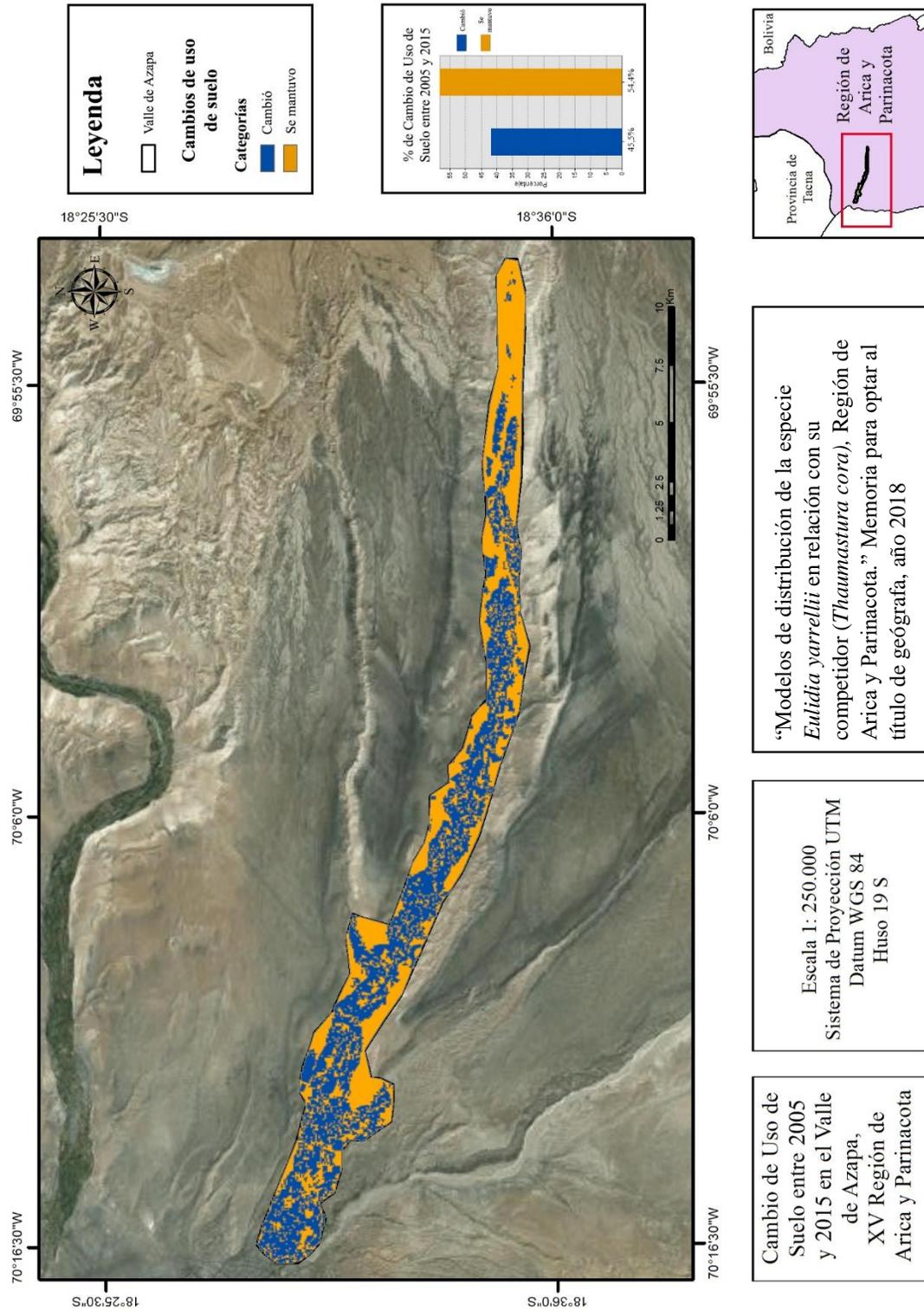


Figura n° 27. "Porcentaje de cambio de Uso de Suelo entre los años 2005 y 2015 en el Valle de Azapa, XV Región de Arica y Parinacota". Fuente: Elaboración propia.

Considerando la matriz de cambios, el porcentaje que cambió hacia plantaciones fue de un 13,04%, el cambio hacia árboles fue de un 18,28%, el cambio hacia tierra arable fue de un 6,09%, el cambio hacia tierra s/p fue de un 8,15% y el cambio hacia zona urbana fue de un 0,01%. Por su parte, lo que se mantuvo como plantaciones fue de un 8,28%, un 4,65% se mantuvo en árboles, un 0,91% se mantuvo como tierra arable y un 40,55% se mantuvo en tierra s/p, demostrando así la tendencia a que la tierra s/p es la que mantiene un mayor porcentaje sin cambios, y que aquellos que cambian se atribuyen mayoritariamente a las plantaciones.

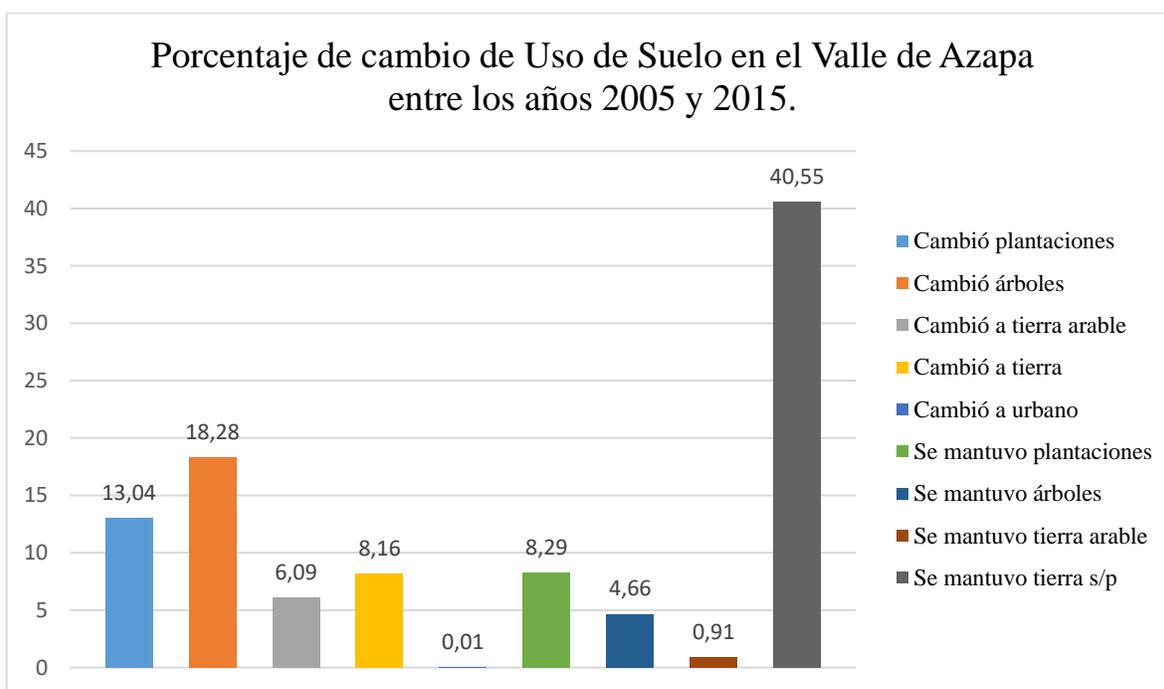


Gráfico n° 15. “Porcentaje de cambio de Uso de Suelo en el Valle de Azapa entre los años 2005 y 2015 según las ponderaciones de la matriz”. Fuente: elaboración propia de acuerdo con la información obtenida a través del software ArcGis 10.4.1.

En términos más específicos, los cambios de acuerdo con la matriz anteriormente mencionada son los siguientes:

Tipo de cambio	Porcentaje (%)	Cantidad en m ²
De árboles a plantaciones	1,20	1.049.810
De tierra arable a plantaciones	3,68	3.220.770
De tierra s/p a plantaciones	8,07	7.067.950
De zona urbana a plantaciones	0,09	77.168
De plantaciones a árboles	10,02	8.771.000

De tierra arable a árboles	2,19	1.915.020
De tierra s/p a árboles	6,03	5.280.040
De zona urbana a árboles	0,04	37.991
De plantaciones a tierra arable	2,41	2.105.970
De árboles a tierra arable	0,79	691.085
De tierra s/p a tierra arable	2,85	2.492.380
De zona urbana a tierra arable	0,05	43.745
De plantaciones a tierra s/p	4,62	4.043.880
De árboles a tierra s/p	1,09	957.287
De tierra arable a tierra s/p	2,32	2.028.190
De zona urbana a tierra s/p	0,13	110.591
De plantaciones a zona urbana	0,00	4.375
De tierra arable a zona urbana	0,01	8.749
Se mantuvo plantaciones	8,29	7.253.420
Se mantuvo árboles	4,66	4.079.050
Se mantuvo tierra arable	0,91	797.023
Se mantuvo tierra s/p	40,55	35.498.700
Total	100	87.534.193

Tabla n° 22. “Tipo de cambio de uso de suelo en el Valle de Azapa entre los años 2005 y 2015 según las ponderaciones de la matriz”. Fuente: elaboración propia de acuerdo con la información obtenida a través del software ArcGis 10.4.1.

Finalmente, en cuanto a los invernaderos que son otro punto de preocupación al poder considerarlos como barreras físicas para la obtención de alimentos por parte del picaflor de Arica, se establece que, de la cantidad de superficie que cambió hacia invernaderos o que se mantuvo en esa categoría en dicho período de años, alcanza los 13,83 km² (ver tabla n°XX), donde se destaca el cambio positivo desde las plantaciones hacia invernaderos (con un 5,4%) y de la tierra sin plantaciones hacia invernaderos (con un 6,5%).

Tipo de cambio	Porcentaje (%)	Cantidad en m2
De plantaciones a invernadero	5,42	4744750
De arable a invernadero	2,76	2416600
De tierra s/p a invernadero	6,52	5712680
De árboles a invernadero	0,74	647810
De invernadero a plantaciones	0,34	300267
De invernadero a árboles	0,09	83115,5
De invernadero a tierra arable	0,11	100613
De invernadero a tierra s/p	0,25	221677
Se mantuvo invernadero	0,36	316693

Tabla n° 23. “Cambio de superficie de uso de suelo respecto a los invernaderos entre los años 2005 y 2015 en la región de Arica y Parinacota”. Fuente: elaboración propia de acuerdo con la información obtenida a través del software ArcGis 10.4.1.

4.3.3. Análisis del cambio de uso de suelo entre los años 1995 y 2015. Los veinte años en el Valle de Azapa.

Tomando ahora los años 1995 y 2015, se observa que un gran porcentaje de suelo no ha cambiado su clasificación en 20 años, lo que se explicaría por toda esa área sin vegetación, plantaciones o estructuras urbanas (tierra s/p) que sigue intacto dentro del Valle de Azapa, el cual no ha sido intervenido mayoritariamente, sobre todo en la zona oeste de dicho Valle. Mientras, el 42% de suelo que tuvo un cambio, se presenta principalmente en los tres ítem presentados en los casos anteriores: cambio hacia plantaciones, cambio hacia árboles y cambio hacia tierra arable.

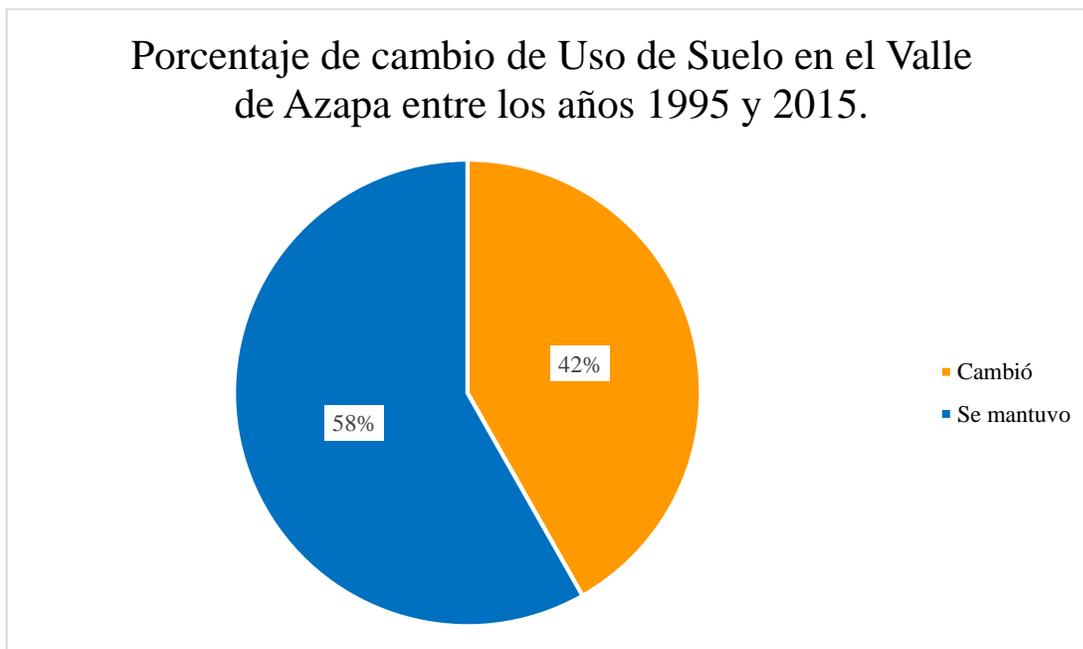


Gráfico n° 16. “Porcentajes de cambio de Uso de Suelo en el Valle de Azapa entre los años 1995 y 2015”. Fuente: Elaboración propia de acuerdo con la información obtenida a través del software ArcGis 10.4.1.

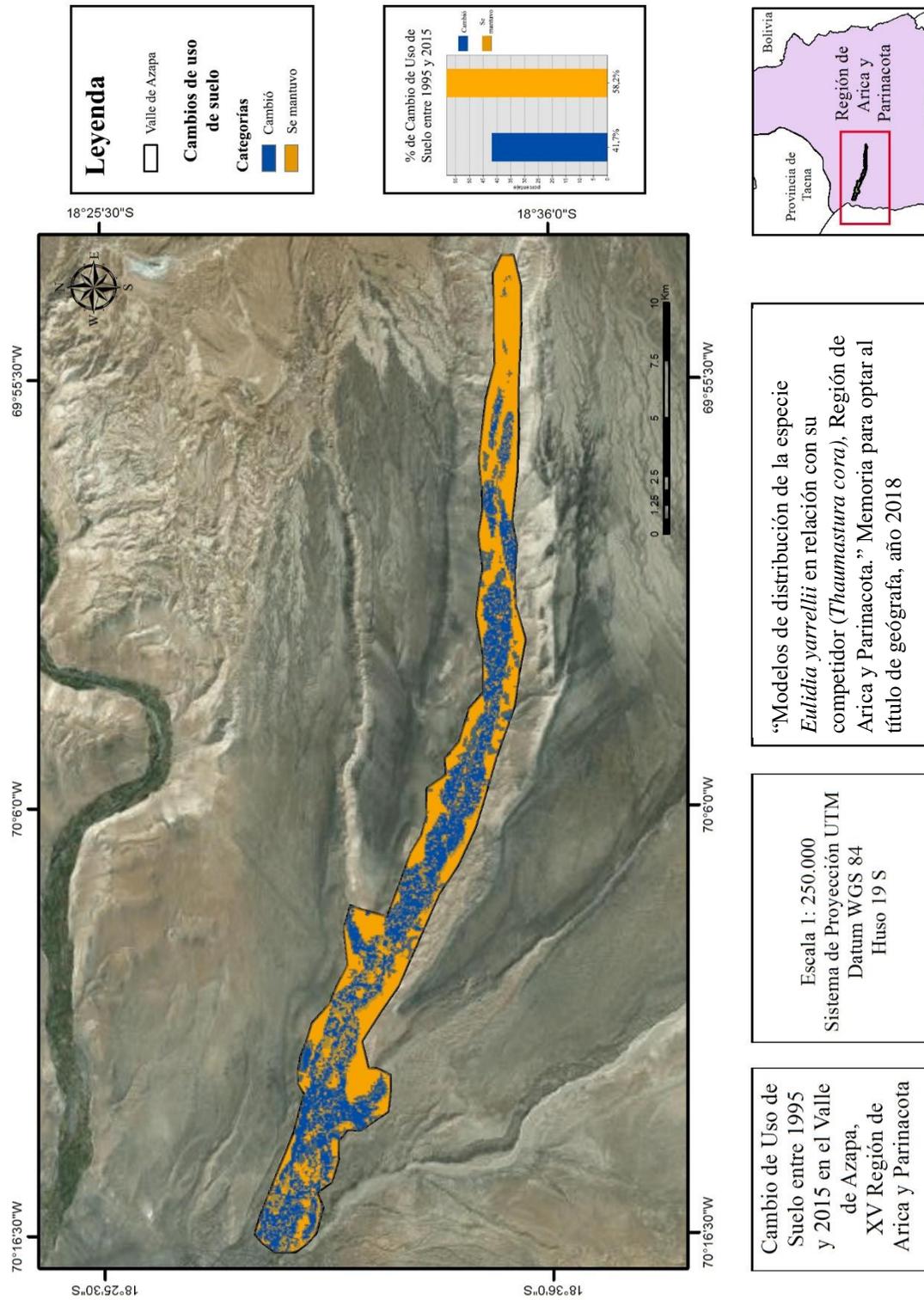


Figura n° 28. "Porcentaje de cambio de Uso de Suelo entre los años 2005 y 2015 en el Valle de Azapa, XV Región de Arica y Parinacota". Fuente: Elaboración propia.

En términos específicos, se observa que un 45,11% del suelo se mantuvo en la categoría de tierra s/p, seguido por la superficie que se mantuvo con árboles (10,35%) y, en menor medida, el suelo que se mantuvo en tierra arable y en plantaciones, con un 1,69% y 1,05% respectivamente, mientras que el que se lleva el mayor porcentaje de cambio es aquel suelo que cambia hacia plantaciones (20,24%), lo cual se condice con lo esperado dado los antecedentes bibliográficos estudiados, donde se establecía un aumento en las plantaciones y cultivos en el Valle de Azapa.

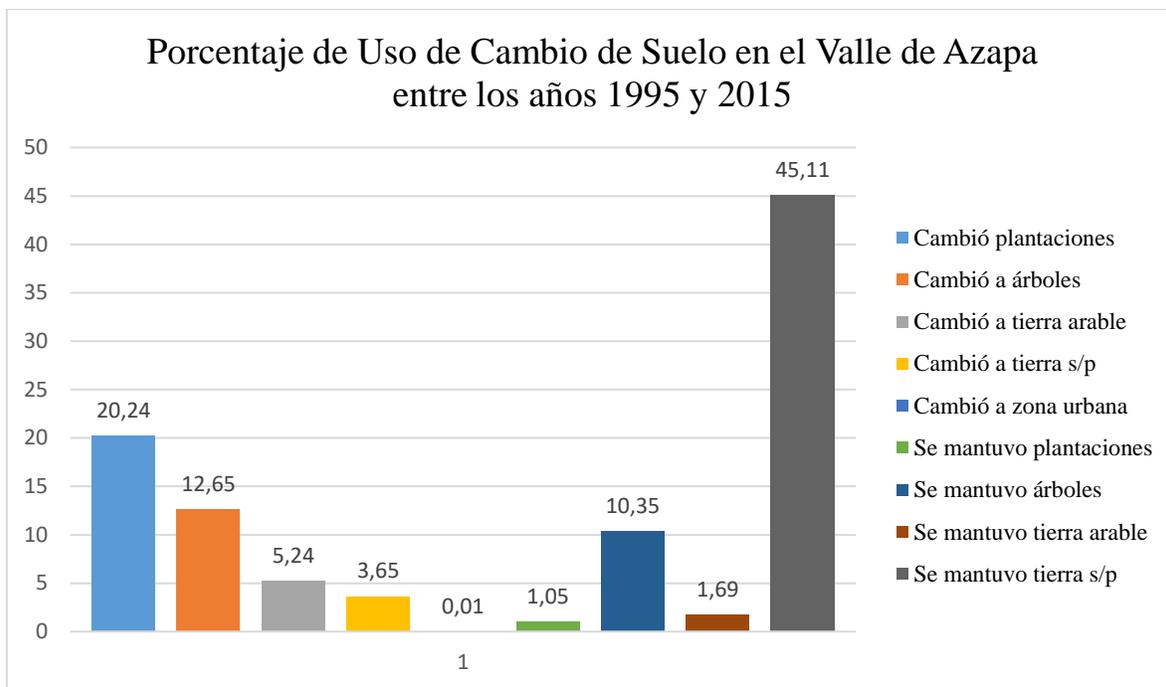


Gráfico n° 17. "Porcentaje de cambio de Uso de Suelo en el Valle de Azapa entre los años 1995 y 2015 según las ponderaciones de la matriz". Fuente: elaboración propia de acuerdo con la información obtenida a través del software ArcGis 10.4.1.

Los porcentajes de cambio, de manera más específica en relación con la matriz de cambios, son los siguientes:

Tipo de cambio	Porcentaje (%)	Cantidad en m ²
De árboles a plantaciones	4,75	4.155.300
De tierra arable a plantaciones	6,07	5.308.880
De tierra s/p a plantaciones	9,40	8.231.200
De zona urbana a plantaciones	0,02	21.873
De plantaciones a árboles	0,56	489.531
De tierra arable a árboles	6,07	5.309.600
De tierra s/p a árboles	5,99	5.240.100
De zona urbana a árboles	0,03	30.622
De plantaciones a tierra arable	0,13	115.661
De árboles a tierra arable	1,50	1.316.510
De tierra s/p a tierra arable	3,59	3.142.280
De zona urbana a tierra arable	0,01	8.749
De plantaciones a tierra s/p	0,15	128.089
De árboles a tierra s/p	1,55	1.358.910
De tierra arable a tierra s/p	1,89	1.657.030
De zona urbana a tierra s/p	0,06	50.617
De tierra s/p a zona urbana	0,01	13.124
Se mantuvo plantaciones	1,05	921.400
Se mantuvo árboles	10,35	9.059.660
Se mantuvo tierra arable	1,69	1.479.360
Se mantuvo tierra s/p	45,11	39.484.700
Total	100,00	87.523.194

Tabla n° 24. “Tipo de cambio de uso de suelo en el Valle de Azapa entre los años 1995 y 2015 según las ponderaciones de la matriz”. Fuente: elaboración propia de acuerdo con la información obtenida a través del software ArcGis 10.4.1.

CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.

5.1. Discusión

5.1.1. En relación con el picaflor de Arica y picaflor de Cora

Las similitudes tanto morfológicas como de comportamiento entre el picaflor de Arica y su competidor, el picaflor de Cora, hacen que sea difícil distinguirlos entre sí a simple vista: de tonalidades similares, el plumaje de ambas especies resulta prácticamente idéntico, sobre todo entre las hembras, y sus fuentes de alimento también resultan similares, encontrándose dentro de la dieta de ambos, especies como el chañar (*Geoffroea decorticans*) y el chuve (*Conirostrum cinereum*) así como artrópodos y pequeños insectos voladores (Clark, Feo & Van Dongen, 2013; AvesChile, 2016; Herreros de Lartundo, Tala & Estados, 2013). Por ello, la llegada del picaflor de Cora en la década de los '70 y el coincidente descenso del picaflor de Arica, ha hecho que se le considere al primero como un competidor y posible causante de su extinción (AvesChile, 2016). Y si bien, dentro del segundo resultado, en el cual a través de los modelos de distribución se pudo identificar que ambas especies tienen prácticamente el mismo nicho y que estadísticamente no se encuentre una diferencia significativa entre ambas especies, el hecho que ambos picaflores estén descendiendo su población – e incluso la población de un tercer picaflor, el picaflor del Norte –, es un factor importante a considerar.

Si bien el picaflor de Cora y el picaflor del Norte cuentan con una población abundante, las tendencias poblacionales para las tres especies en los diferentes valles de la región de Arica y Parinacota muestran un descenso que iría contra la teoría de que uno de ellos es el causante en la disminución del otro (una relación inversamente proporcional). En el informe entregado por la Unión de Ornitólogos de Chile el año 2016, las poblaciones tanto del picaflor de Arica como del picaflor de Cora descienden – a diferente escala – a partir del año 2012 (ver gráfico n°16), donde se observa claramente que, si bien en el caso del picaflor de Arica el descenso ha sido prolongado por más de 10 años, el picaflor de Cora tiene un repunte poblacional el año 2012 aproximadamente, donde luego cae abruptamente para continuar descendiendo hasta la proyección para el año 2016.

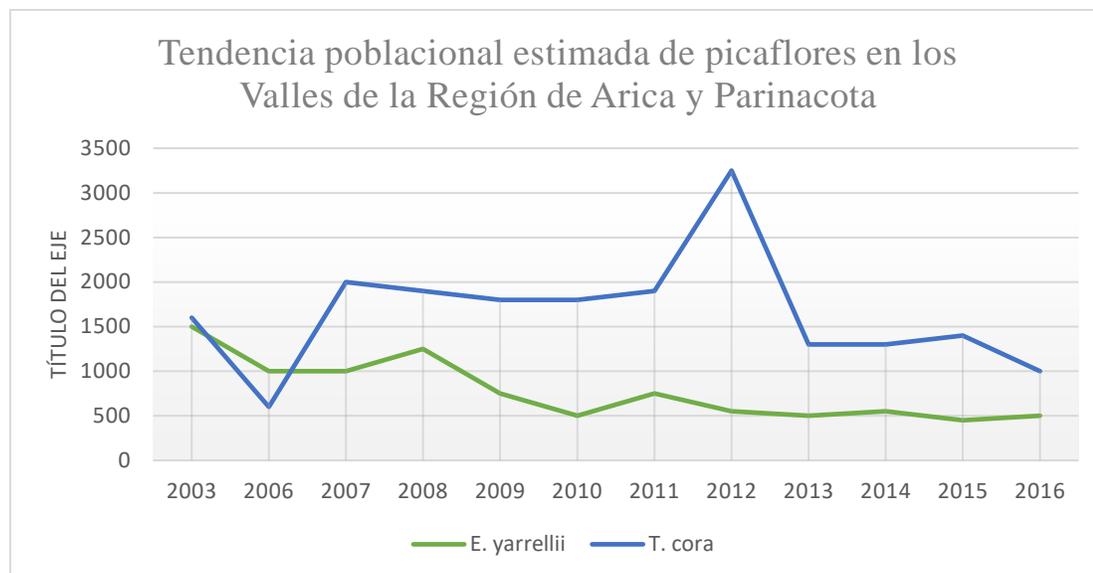


Gráfico n° 18. “Tendencia poblacional estimada de picaflores en los Valles de la Región de Arica y Parinacota”. Fuente: Elaboración propia en base a los datos entregados por AvesChile, 2016. “Picaflor de Arica (Eulidia yarrellii): piloto simulación de áreas lek, material de difusión página web y estimación poblacional año 2016”, p. 35.

Y si bien se puede ver claramente que el picaflor de Cora sigue siendo más abundante que el picaflor de Arica – lo que podría explicar el descenso de este último –, queda la interrogante respecto a ese factor desconocido que estaría provocando el descenso de ambas especies e incluso del tercer picaflor presente en la región (el picaflor del Norte), el cual también tiene una disminución en el número de individuos con el que cuenta, pasando de 10.000 individuos en 2003 a 4.000 individuos aproximadamente para el año 2016 (AvesChile, 2016).

La protección y las políticas ambientales, entonces, cobran relevancia en este punto. Si existe un factor más allá de la llegada de una especie exótica al territorio chileno – en este caso, el picaflor de Cora el cual proviene de Perú –, la falta de programas y planes provenientes del gobierno central o regional, pueden influir en su extinción dado que la especie queda a la deriva, tanto en información actualizada como en acciones particulares para responder a las necesidades de la especie.

En el quinto informe nacional de biodiversidad de Chile del año 2014, se realiza un balance respecto a los avances en los diversos objetivos planteado en el Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020, en el cual se plantean las diversas metas que se esperan cumplir para el año 2020, mostrando su avance a través de los años.

Y si bien una de las metas establece que “para 2020, se habrá evitado la extinción de especies en peligro identificadas y su estado de conservación se habrá mejorado y sostenido, especialmente para las especies en mayor declive” (MMA, 2014a. p. 99), meta que se encuentra en un nivel de avance alto, éste posee una tendencia a no avanzar hacia el cumplimiento de la meta, lo cual se justifica en que las acciones habilitadoras implementadas no son suficientes para evitar la extinción de las especies (MMA, 2014a). Y si bien se

trabajaba en ese año en la formulación de Planes de Recuperación, Conservación y Gestión (RECOGE) de especies silvestres, la disponibilidad de recursos por parte del Estado no existe, a lo que se suma la descoordinación entre las medidas habilitadoras ya implementadas en los diferentes sectores. Dentro de los planes RECOGE, se establecía que se implementaría para especies amenazadas, entre ellas al picaflor de Arica, algo que no ha demostrado resultados positivos dado que pasó de ser un borrador en 2004, a volver a ser desarrollado en 2010, y con una última revisión en el que sería el plan definitivo desarrollado en 2016 (La Tercera, 2017).

Como una línea de tiempo, los diversos planes y programas que se pretendían instaurar para proteger y recuperar al picaflor de Arica fueron los siguientes:

Para el año 2004, se muestra en el boletín n°4 del SAG los tres objetivos específicos del programa de recuperación del picaflor de Arica, los cuales son: “(i) *incrementar el tamaño de las poblaciones existentes, asegurando su viabilidad en el tiempo: con acciones tendientes al fomento de flora ornitófila, restauración de hábitat, fomento de las poblaciones, evaluación de competencia con picaflor de Cora, buenas prácticas agrícolas, entre otros;* (ii) *Aumentar el rango de distribución de la especie: con acciones tendientes a conservación y reproducción ex situ para posibles reintroducciones;* (iii) *Incentivar la participación ciudadana respecto de la conservación de la especie: con acciones en educación ambiental, designación como ave símbolo de Arica, entre otros*” (SAG, 2004. p.11). Pero el evidente descenso poblacional, denota que al menos en términos prácticos, el programa no tuvo resultados favorables en caso de que haya sido aplicado.

En respuesta al descenso en el número de individuos, las autoridades establecen las bases para un plan de conservación en el año 2013, el cual consideraba una red de micro-reservas, la recreación del hábitat en un espacio protegido para el picaflor, a través de la restricción en el uso de pesticidas, la plantación de especies relacionadas con la alimentación (como el chañar) y nidificación del picaflor, controlar también a las mascotas - particularmente los gatos – dado que cazan al picaflor y, eventualmente, controlar al picaflor de Cora (La Tercera, 2012; MMA, 2016), plan que para el año 2014 seguía siendo sólo un proyecto que se implementaría gracias al conjunto de expertos del Ministerio del Medio Ambiente y la Seremi de Medio Ambiente de la región de Arica y Parinacota (Teletrece, 2014). Para dicho año, solo había una micro-reserva activa en la localidad de Chaca, contando con seis hectáreas en las cuales se estaba introduciendo flora nativa acorde a las necesidades del picaflor, favoreciendo las condiciones naturales en las que habita, y se esperaba que, en el futuro, se sumara la micro-reserva Pampa del Gobernador en Azapa (MMA, 2014b).

Y si bien para enero del 2015 se consolidaban las líneas de acción del proyecto para la conservación del picaflor de Arica, lo que significaba el establecimiento de compromisos público/privados para la construcción del plan estratégico a implementar en la región (GORE, 2017), ese mismo año la población existente del picaflor de Arica en los diferentes valles de la región era tan baja (cerca a los 400 individuos), que fue declarada por la IUCN como una especie en peligro crítico (Birdlife International, 2017)

Esto último, demuestra que el tardío desarrollo, y mucho más importante, la falta de la implementación en los plazos establecidos de los planes y programas que se han mantenido en la palestra política por años – como queda demostrado en la revisión previamente descrita, donde el mismo plan se mantuvo por dos años sin desarrollarse –, llevó a que la población del picaflor de Arica siguiese descendiendo hasta llegar a niveles críticos y que, de no ser aplicados en el corto plazo, pueden significar la desaparición de la especie.

5.1.2. En relación a los modelos de distribución: la obtención de datos y selección de variables.

Para la realización de un modelo de distribución de especies, son necesarias tanto las variables dependientes como independientes (Mateo, Felícimo & Muñoz, 2011), siendo las variables dependientes los datos de presencia (los más utilizados), ausencia y abundancia (Mateo, Felícimo & Muñoz, 2011). Por ello la obtención y/o generación de una buena base de registros de la especie es fundamental a la hora de modelar, fijándose en que cumplan con los criterios mínimos de revisión taxonómica (identificación de los nombres) y geográficas (georreferenciación) (Newbold, 2010 citado por Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a).

Pero si bien los datos pueden ser corregidos de sus errores, algo todavía fundamental y que sigue siendo una de las debilidades de los modelos de distribución, son la fuente de información de la cual provienen los datos, ya que la mayoría de éstos provienen de muestreos no dirigidos presentes en herbarios, museos o internet (como sucede en el caso de los datos de la Global Biodiversity Information Facility o GBIF), que si bien significan un avance en la obtención de datos por cualquier investigador, también los hace más propensos a tener sesgos de información (Mateo, Felícimo & Muñoz, 2011). Peterson *et al.* (2011) resume en 8 los factores que pueden afectar que exista o no el registro de una especie en cierto espacio geográfico, siendo:

- i) El área puede que no sea adecuada y que, por aquella razón, la especie no se encuentra presente
- ii) El área puede ser no adecuada, pero la especie sí se encuentra presente (al menos ocasionalmente) debido a la dispersión de áreas adecuadas para su desarrollo.
- iii) El área puede ser adecuada, pero la especie no ha sido capaz de dispersarse en ella.
- iv) El área adecuada fue ocupada en algún punto por la especie, pero la especie ha sido expulsada de dicha área
- v) El área adecuada puede que sea ocupada por la especie, pero ningún investigador ha visitado nunca el lugar para registrarla.
- vi) El área adecuada puede que sea ocupada por la especie y puede haber sido visitada y registrada por los investigadores, pero ellos no detectaron a la especie.

- vii) El área adecuada puede que sea ocupada por la especie y puede haber sido visitada y registrada por los investigadores, e incluso la especie puede haber sido detectada, pero los registros no están disponibles para el investigador.
- viii) El área adecuada puede que sea ocupada por la especie y puede haber sido visitada y registrada, la especie también pudo ser detectada, y el registro está disponible para el investigador. (Peterson *et al.*, 2011. p. 63)

De acuerdo a estos factores, es que dar una veracidad completa a los registros de especies utilizados en el desarrollo de esta memoria, no es posible, dado que si bien se utilizaron datos entregados por el propio Ministerio del Medio Ambiente, el hecho de que ambas especies de picaflor estén o no presentes en un punto determinado dentro de la región e incluso dentro del propio Valle de Azapa, puede depender tanto del mes de la colecta, del tipo de persona que hizo la colecta, etc., dado que los datos son obtenidos en un lugar y momento determinados. Lo mismo sucede en el caso de los registros obtenidos desde la plataforma GBIF, donde la propia corrección de los errores de las bases de datos, o la transformación de las coordenadas UTM a coordenadas geográficas, pueden o no haber alterado la información. Sumado a esto, se debe considerar lo que Mateo, Felícimo & Muñoz (2011) establecen como la ausencia del componente espacial, vale decir, que las coordenadas de la presencia se utilizan para extraer los valores de las variables independientes de ese punto sin considerar lo que sucede alrededor, por lo que se pueden generar barreras entre las zonas potenciales por la condicionalidad de las variables climáticas.

Es por esto que, si bien los modelos de distribución aquí generados se condicen con la información bibliográfica previamente obtenida, los vacíos que se pueden haber generado a causa de la fragilidad de la información en la cual se basan los modelos, puede causar un sesgo en los resultados, por lo que siempre se recomienda que los modelos sean contrastados con la realidad, o que las colectas utilizadas para la generación de los modelos, considere los factores antes mencionados a la hora de ser analizados, o que las colectas se generen por el propio investigador. Referente a esto, también resulta fundamental que estamentos estatales, como en este caso, el propio Ministerio del Medio Ambiente, cuente con personal especializado que se encargue tanto de realizar las colectas, como también de corregir las que ya se encuentran, para así poseer bases de datos robustas y pertinentes que permitan la realización de investigaciones y trabajos relacionados con modelos de distribución que colaboren con la conservación de la biodiversidad.

En tanto al número mínimo de registros, se establece que el éxito que pueda tener el modelo de distribución con un número reducido de registros dependerá del método de modelado y de las variables ambientales utilizadas (Stockwell & Peterson, 2002 citado por Papes & Gaubert, 2007), considerando un número superior a 30 registros (según Wisz *et al.*, 2008) o 50 registros (según Kadmon, Farber & Danin, 2003) los que permitirían la obtención de moldes estadísticamente robustos (Plissock & Fuentes-Castillo, 2011a).

Otro factor importante a la hora de desarrollar los modelos de distribución es la selección de las variables independientes, tanto la cantidad como el tipo de variables a utilizar, ya que las variables climáticas y topográficas influyen en la selección del hábitat y en las tasas

demográficas de las especies, por ende, influyen directamente en el resultado final del modelo (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a; Plasencia, Escalona & Esparza, 2014)

En otras palabras, la elección de las variables debe considerar el hecho de que cada especie tiene una relación e interacción entre los intervalos ambientales y los factores intrínsecos poblacionales como el establecimiento de la especie, la sobrevivencia y la reproducción de la misma (Maciel-Mata *et al.*, 2015), algo que Hirtzel & Le Lay (2008) resumen en lo que denominan las 3 causas a considerar para que la especie esté presente en un espacio geográfico determinado, siendo: (i) el ambiente local/condiciones presentes, permiten que la población de la especie crezca y se desarrolle; (ii) la interacción con las otras especies (depredadores, competencia, pluralismo, etc.), permite que la especie persista; (iii) la localidad u espacios geográficos son accesibles, dadas las habilidades de dispersión de la especie (Hirtzel & Le Lay, 2008; Maciel-Mata *et al.*, 2015).

Por su parte, Guisan & Zimmermann (2000) citado por Mateo, Felícimo & Muñoz (2011), establecen que los factores ambientales tienen un efecto ya sea de forma directa o indirecta sobre la distribución de las especies, donde la extensión espacial y la escala en la que se desarrolle el modelo, condicionan la selección de las variables, elección que debe considerar, en palabras de los autores, tres condiciones:

- (i) Que sean potencialmente explicativas – que tengan una relación potencial con la distribución de las especies –, ya sea como factor limitante o como un indicador a través de relaciones directas;
- (ii) Que muestren una variabilidad significativa en la zona de estudio; y
- (iii) Que sean independientes o que no estén excesivamente relacionadas entre sí.

Y si bien las variables climáticas o bioclimáticas son las más utilizadas principalmente por lo fácil que es obtenerlas – como lo demuestran las 19 variables bioclimáticas de WorldClim – también se utilizan variables topo-edáficas (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a).

Y si bien a través de la revisión bibliográfica realizado en esta memoria, se vieron variados ejemplos de modelos de distribución de aves los cuales concordaban con este último punto, vale decir, en la utilización de las variables bioclimáticas entregadas por WorldClim, también algunos se diferenciaban al complementar estas variables con otras tales como: altitud, porcentaje de pendientes, uso de suelo y vegetación, asentamientos humanos y cuerpos de agua (Longoria, 2001), categorías de estructura vegetal (Carrascal *et al.*, 2015), índice topográfico de la humedad (Plasencia & Escalona, 2014) y pendiente (Plasencia, Escalona & Esparza, 2014), por nombrar algunos.

Y si bien la elección de variables puede ayudar a mejorar el resultado de un modelo – como sucede con la elección de variables de tipo topo-edáficas, donde se ha demostrado que en escalas espaciales de mayor detalle ayudan al resultado final –, la escala también juega un rol fundamental. Como señalan Pliscoff & Fuentes-Castillo (2011a), en el caso de Chile, el utilizar bases de datos climáticos como WorldClim, se debe hacer con cuidado dado que algunas evaluaciones han señalado que se observan problemas en los valores de las variables climáticas, especialmente en las zonas del país donde la cobertura de las estaciones

meteorológicas resulta menor como en el caso del norte de Chile – y, en este caso, con la zona de estudio –. Por ello se decidió en esta memoria, utilizar las variables bioclimáticas entregadas por Pliscoff *et al.* (2014) y sumar a esto, la elección de una variable topo-edáfica – distancia a los ríos –, la cual demostró tener una mayor influencia cuando el área de estudio se reducía, superando incluso la influencia de las variables bioclimáticas utilizadas.

5.1.3. En relación con los usos de suelo.

Las condiciones climáticas presentes en el Valle de Azapa son idóneas para la producción agrícola, permitiendo la distribución de hortalizas en época invernal al resto de país. Dentro de esto, se destacan las plantaciones de olivo (*Olea europaea L.*) y en menor medida las plantaciones de mango (*Mangifera indica L.*), palta (*Persea americana Mill*), tomate (*Lycopersicon esculentum*), morrón (*Capsicum annuum L.*), maíz híbrido (*Zea mays L.*) y poroto (*Phaseolus vulgaris L.*) (Torres & Acevedo, 2008)

Las superficies, por tanto, destinadas a este rubro, han ido aumentando con el paso de los años, siendo una de las preocupaciones por parte de los investigadores dado que atribuyen el aumento de las plantaciones agrícolas a perturbaciones en la cuenca del río San José y a la disminución del chañar, especie importantísima dentro de la dieta del picaflor de Arica.

En términos específicos, el aumento de las superficies regadas dentro del Valle, en un período de 54 años (entre 1942 y 1996), aumentó en casi 16.000 hectáreas (Torres & Jiménez, 1998; Keller, 1946 citados por Torres & Acevedo, 2008). En cuanto a la producción a nivel comunal en Arica, la superficie cultivada entre los años 1997 y 2007 fue de aproximadamente 449,4 hectáreas, considerando dentro de esto, los cultivos de ají, berenjena, lechuga, pepino, pimiento, poroto verde, tomate y zapallo italiano, vale decir, aquellas plantaciones con una menor productividad respecto a las otras hortalizas previamente mencionadas que destacan dentro del Valle de Azapa.

Hacia el año 2004, en tanto, las cifras entregadas por la ODEPA para la, en ese tiempo, I región de Tarapacá, mostraban que Arica concentraba el 77% de la superficie cultivada, en un equivalente de 3.000 hectáreas por año dedicadas a la producción de diversas hortalizas, de las cuales 2.294,7 ha se clasifican como “al aire libre” y 156.990 m² clasificadas como “en invernadero” (ODEPA, 2004).²

Y si bien entre los años 2007 y 2013 la fluctuación respecto a las superficies plantadas de diferentes tipos de hortalizas es descendiente (ver gráfico n°19) – algo que no se vio en los años anteriormente evaluados, donde la cantidad de hectáreas plantadas siempre iba en aumento –, esto se podría explicar dado que, en algunos tipos de hortalizas presentes en esta estimación como en el caso de la acelga, el brócoli, la espinaca y el pepino de ensalada, no se consultaron los años 2009 y 2010, mientras que en el caso del ají, el ajo, la alcachofa, el

² <http://www.odepa.gob.cl/publicaciones/articulos/produccion-y-mercado-de-hortalizas-en-arica-2>

apio, la arveja, etc, no tuvieron estimación en diversos años. De todas formas, para el año 2015 las estimaciones muestran que la superficie de hortalizas para la región de Arica y Parinacota fue de 2.799,4 hectáreas (INE, 2015), mientras que para el año 2016, unas 954 hectáreas de la provincia de Arica estuvieron destinadas a la fruticultura, de las cuales 791 ha se dedicaron a la producción de olivo, lo cual representa el 79,5% del total de la región

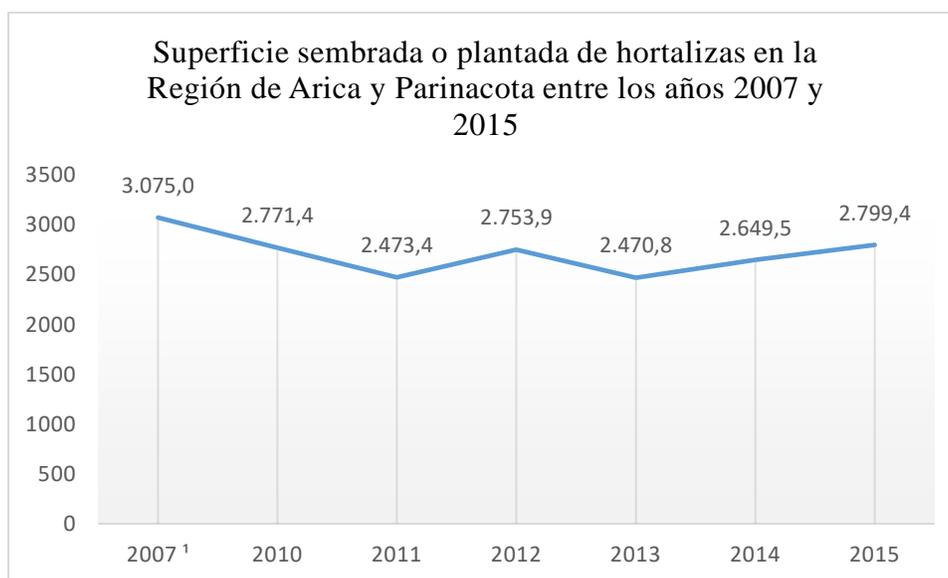


Gráfico n° 19. Superficie sembrada o plantada de hortalizas en la Región de Arica y Parinacota entre los años 2007 y 2015". Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenidos de INE, 2015. "Encuesta de superficie hortícola 2015".

Si estadísticamente se observa una disminución de acuerdo a los datos entregados por los catastros, ¿es realmente la agricultura un detonante de cambios negativos en la estructura de suelo del Valle de Azapa, lo cual ha llevado a que el picaflor de Arica disminuya su número de individuos hasta encontrarse en peligro de extinción? Porque el cambio de uso hacia la agricultura ha significado el deterioro del chañar, especie considerada como una maleza dañina por parte de los agricultores, y también el aumento del uso de pesticidas tóxicos, ambos factores que se establece son dañinos para el picaflor de Arica – el primero, por ser una especie de la cual el picaflor se alimenta, y lo segundo, por ser elementos tóxicos –, pero si la cantidad de cultivos ha disminuido y no aumentado como se creía. ¿Es realmente el causante o un elemento clave para la extinción del picaflor de Arica?

5.2. Conclusión

En primer lugar, se establece que ambas especies, tanto *E. yarrellii* como *T. cora*, poseen características físicas y de comportamiento similares, lo que conlleva a que se desarrollen en las mismas áreas y busquen fuentes de alimento similares, algo que se condice con lo demostrado por los MDE, donde estadísticamente demuestran no tener una diferencia significativa en el área en la cual se desarrollan. Pero algo a considerar y que resulta de gran importancia, es que el picaflor de Cora, tanto como el picaflor de Arica, han disminuido paulatinamente su población a pesar de que el picaflor de Cora tiene una mayor adaptabilidad a los cambios que el picaflor de Arica (característica que algunos autores establecen podría ser un influyente directo de que el picaflor de Arica se esté extinguiendo), por lo que, sea cual sea el causante del descenso poblacional, éste afecta a ambas especies e incluso al tercer picaflor presente en la zona, el picaflor del Norte.

En segundo lugar, el objetivo 2 que buscaba modelar la distribución de ambas especies para contrastarlo con la información bibliográfica, se pudo demostrar que espacialmente poseen una distribución muy similar. El desarrollo de los modelos se generó en dos escalas, una regional y otra específicamente en el Valle de Azapa, y en ambas ocasiones, si bien la distribución no era exactamente igual, como en el caso regional, donde el picaflor de Arica tenía un área de alta probabilidad de desarrollarse mayor que la del picaflor de Cora en la zona de Camarones, sí eran muy coincidentes sus distribuciones en el resto de la región, siendo casi idéntica en el caso del Valle de Azapa. Pero como se ha mencionado anteriormente en las discusiones, el tomar estos modelos como un hecho no es factible, dado que los diversos factores que pueden influenciar el desarrollo de un registro de especies hacen que una distribución similar de ambas especies se pueda deber a que el mayor número de colectas se realizaron en los valles donde se observa una distribución similar, mientras que en otros valles hay una menor distribución sólo por falta de registros y no porque la especie realmente no se encuentre en el lugar.

Finalmente, los cambios de uso de suelo se condicen con lo previamente esperado de un aumento de las superficies dedicadas al rubro agrícola en el período de 1995-2015. Esto reafirmaría, por tanto, las hipótesis de que el aumento de los cultivos en el Valle de Azapa (que trae como consecuencias la disminución de especies nativas como el chañar y también de un aumento en el uso de pesticidas), es un factor importante dentro de la disminución del picaflor de Arica, dado que su disminución ha sido prolongada desde el año 2004 cuando Estados *et al.* (2007) realizan su investigación y denotan la disminución de individuos, hasta el año 2015, donde el picaflor de Arica es clasificado como una especie en peligro crítico (CR).

Y si bien hace falta una indagación aún más profunda respecto a las causas y factores que influyen en que el ave más pequeña del país esté al borde de desaparecer, los objetivos de esta memoria de mostrar datos que demuestren lo que está pasando con la especie, ha sido cumplido.

5.3. Recomendaciones

Si bien en un principio esta memoria contemplaba un objetivo relacionado con la percepción de los habitantes del Valle de Azapa, tanto por la falta de financiamiento como por la falta de respuestas por parte de los diversos actores que fueron contactados vía telefónica y vía correo electrónico, dicho objetivo fue eliminado.

Por ello, se recomienda que, para un futuro, se pueda establecer contacto con los habitantes tanto del Valle de Azapa como del resto de los Valles donde se encuentra presente el picaflor de Arica, dado que hechos tan simples como saber si los habitantes pueden o no reconocer y distinguir a la especie de los otros dos picaflores presentes en la zona, pueden provocar un cambio importante dentro de la percepción, comportamiento y cuidado que tendrán dichos habitantes sobre la especie.

Dentro de la entrevista planteada para esta memoria, se encontraban preguntas claves como fotografías tanto del picaflor de Arica como del picaflor de Cora para que los entrevistados expresaran si conocían o distinguían dichas especies, también se le consultaba si había recibido algún tipo de infografía respecto al picaflor de Arica y si conocía o practicaba alguna medida para proteger al picaflor de Arica, dado que si bien existen en la web infografías sobre la especie, y programas escolares en los cuales se incentiva el cuidado de la especie e incluso ayudan a diseñar bebederos artificiales, la población adulta – en especial los agricultores –, desconocen o se ven poco interesados en dichas prácticas, por lo cual resulta fundamental concentrarse además en este grupo, focalizando también la importancia de cuidar especies nativas de gran importancia asociada al picaflor de Arica, como el caso del chañar, el cual es considerado por los agricultores de la zona como una maleza, exterminando de esta forma una de las fuentes principales de alimento del picaflor.

Y si bien en esta memoria no se trató este tema, la consideración de una investigación asociada a los usos de pesticidas resultaría beneficiosa para entender un tercer factor detonante de la extinción de *E. yarrellii*.

BIBLIOGRAFÍA.

ARMESTO, J., SMITH-RAMÍREZ, C. & ROZZI, R. (2001) Conservation strategies for biodiversity and indigenous people in Chilean forest ecosystems. *Journal of the Royal Society of New Zealand*. 31

AUSTIN, M. (2002) Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*. 157, 101-118.

AUSTIN, M. (2007) Species distribution models and ecological theory: a critical assessment and some possible new approaches. *Ecological modelling*. 200, 1-19.

AVESCHILE (s.f.) Picaflor de Cora [En línea] < <https://www.avesdechile.cl/344.htm> > [Consultado: 15 julio 2017]

AVESCHILE (2016). Picaflor de Arica (*Eulidia yarrellii*): Piloto simulación de áreas lek, material de difusión página web y estimación poblacional año 2016.

BALDWIN, R. (2009) Use of Maximun Entropy Modeling in wildlife research. *Entropy*. 11, 854-866.

BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL (s.f.) Relieve Región Arica y Parinacota. Chile nuestro país [En línea] < <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region15/relieve.htm>> [Consultado: 23 julio 2017]

BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL (1984). Ley n°18.362. Crea un sistema nacional de áreas silvestres protegidas del Estado.

BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL (1994a). Aprueba ley sobre bases generales del medio ambiente.

BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL (1994b). Historia de la Ley n°19.300. Bases del Medio Ambiente.

BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL (2010) Historia de la Ley n°20.417. Crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente.

BIRDLIFE INTERNATIONAL (2016) *Thaumastura cora*. The IUCN Red list of threatened species 2016.

BIRDLIFE INTERNATIONAL (2017) *Eulidia yarrellii*. The IUCN Red List of Threatened species 2017.

BORDEHORE, C. (2001) Problemas ambientales, problemas humanos.

BRADIE, J. & LEUNG, B. (2016) A quantitative synthesis of the importance of variables used in MaxEnt species distribution models. *Journal of Biogeography*.

CARRASCAL, L., ARAGÓN, P., PALOMINO, D. & LOBO, J. (2015) Predicting regional densities from bird occurrence data: validation and effects of species traits in a Macaronesian Island. *Diversity and distributions*, pp. 1-11.

CARRASCO-LAGOS, P., MORENO, R., TALA, C., IBARRA-VIDAL., H & DUARTE, M. (2016). Vertebrados en peligro de la Región Metropolitana de Santiago, Chile. Seremi de Medio Ambiente Región Metropolitana de Santiago, Universidad Santo Tomás, Ministerio del Medio Ambiente, Exp Ediciones al conocimiento, Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB-Chile) y Minera Florida. 52 pp.

CEBALLOS, G. & ORTEGA-BAES, P. (2011) La sexta extinción: la pérdida de especies y poblaciones en el Neotrópico. *Conservación Biológica: Perspectivas de Latinoamérica*. pp.95-108.

CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (CIREN) (2013) Caracterización de Humedales Altoandinos para una gestión sustentable de las actividades productivas del sector norte del país. Antecedentes climáticos, XV Región de Arica y Parinacota.

CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (CIREN) (2016) Catastro frutícola. Principales resultados, región de Arica y Parinacota

CHASE, J. & LEIBOLD, M. (2003) Ecological niches: linking classical and contemporary approaches. *The University of Chicago Press. Chicago and London*.

CLARK, C., FEO, T. & VAN DONGEN, W. (2013) Sounds and courtship displays of the peruvian sheartail, chilean woodstar, oasis hummingbird, and a hybrid male peruvian sheartail x chilean woodstar. *The condor* 115(3), 558-575.

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA) (2008) Biodiversidad de Chile. Patrimonio y desafíos. Segunda edición actualizada.

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA) (2009) Especies amenazadas de Chile. Protejámoslas y evitemos su extinción. *Serie divulgativa sobre Biodiversidad*.

CRUZ, B. (2006) Rango de ocurrencia y abundancia del “picaflor de Tacna” (*Eulidia yarrellii*) en el Sur del Perú.

ELIOSA, H., NIETO, A. & NAVARRO, M. (2010). Conservadurismo filogenético del nicho ecológico. Un enfoque integral de la evolución. *Ciencias* (98), 64-69.

ELITH, J. & GRAHAM, C. (2009) Do they? How do they? WHY do they differ? On finding reasons for differing performances of species distribution models. *Ecography* 32, 66-77.

ELITH, J., GRAHAM, C., ANDERSON, R., DUDÍK, M., FERRIER, S., GUIBAN, 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* 29, 129-151.
- ELITH, J. & LEATHWICK, J. (2009) Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *The annual review of ecology, evolution and systematics* 40, 677-97.
- ESPINOZA, F. (2013) Influencia de los factores naturales y antropogénicos en la geoquímica de sedimentos fluviales de las cuencas Vitor y San José de Azapa; XV Región de Arica y Parinacota, Chile. Memoria para optar al título de geóloga. Universidad de Chile.
- ESTADES, C., AGUIRRE, J., ESCOBAR, M., TOMASEVIC, J., VUKASOVIC., M. & TALA, CH. (2007). Conservation status of the Chilean Woodstar *Eulidia yarrellii*. *Bird Conservation International* 17, 163-175.
- FERNÁNDEZ-COPPEL, I. & HERRERO, E. (2001) El satélite LANDSAT. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ Satélite LANDSAT. Universidad de Valladolid.
- FIERRO, E. (2012) Biogeografía y estado de conservación de dos especies de aves amenazadas en el Chocó Biogeográfico. Tesis de grado como requisito para la obtención del título de Magíster en Sistemas de Información Geográfica. Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.
- FRANCO, R. (2017) Composiciones Landsat en ArcGIS. Guía básica. Bogotá, Colombia.
- GARSON, J., PLUTYNSKI, A. & SARKAR, S. (2016) Extinction and biodiversity. *The routledge handbook of philosophy of biodiversity*.
- GONZÁLEZ, F. (2015) Modelado de superficies cubiertas en el borde occidental de la depresión central del norte de Chile a partir de la morfometría del paisaje adyacente de la Cordillera de la Costa. Memoria para optar al título de geólogo. Universidad de Chile
- GONZÁLEZ, F., RIQUELME, A., CONTRERAS, P. & MAZUELA, P. (2013) Antecedentes generales para la sustentabilidad de la producción hortícola en el Valle de Azapa, Arica, Chile. *IDESIA (Chile)* 31(4), 119-123.
- GOBIERNO REGIONAL (GORE) (2017) Picaflor de Arica bajó su población de 2 mil a 400 en 8 años y hoy el Gobierno busca revertir esta situación. [En línea] <<https://www.gorearicayparinacota.cl/index.php/noticias/773-picaflor-de-arica-bajo-su-poblacion-de-2-mil-a-400-en-8-anos-y-hoy-el-gobierno-busca-revertir-esta-situacion>> [Consultado: 12 agosto 2017]
- GRINNELL, J. (1924). Geography and evolution. *Ecology* V(3) 225-229.
- GUISAN, A. & THUILLER, W. (2005) Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8, 993-1009.

- GUISAN, A. & ZIMMERMANN, N. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135, 147-186.
- HALFFTER, G. (1994) ¿Qué es la biodiversidad? *Bull. Inst. Cat. Hist. Nat* 62, 5-14.
- HERREROS DE LARTUNDO, J., TALA, CH. & ESTADES, C. (2013) Picaflor de Arica, el ave más amenazada de Chile. Ministerio del Medio Ambiente. Arica, Chile. 84 pp.
- HIRZEL, A. & LE LAY, G. (2008) Habitat suitability modelling and niche theory. *Journal of Applied Ecology*. 45, 1372-1381
- ILLOLDI-RANGEL, P. & ESCALANTE, T. (2008) De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía* 3.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS DE CHILE (INE) (2015). Encuesta de superficie hortícola 2015
- IUCN (2000) Categorías y criterios de la lista roja de la UICN. Versión 3.1 segunda edición.
- IUCN (s.f.) IUCN – A brief history. [En línea] < <https://www.iucn.org/about> > [Consultado: 23 marzo 2017]
- JASSO, M. (2008) Distribución potencial de las aves del altiplano potosino. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias Aplicadas, Instituto potosino de investigación científica y tecnológica, A.C.
- JIMÉNEZ, G. (2013) Caracterización de la cuenca del río San José en Arica para la evaluación a nivel de perfil de un sistema de recarga artificial de acuíferos. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.
- JORQUERA-JARAMILLO, C., ALONSO, J., ABURTO, J., MARTÍNEZ-TILLERÍA, K., LEÓN, M., PÉREZ, M., GAYMER, C. & SQUEO, F. (2012) Conservación de la biodiversidad en Chile: nuevos desafíos y oportunidades en ecosistemas terrestres y marinos costeros. *Revista chilena de historia natural* 85, 267-280.
- KADMON, R., FARBER, O & DANIN, A. (2003). A systematic analysis of factors affecting the performance of climatic envelope models. *Ecological applications*, 13(3), 853-867.
- LABRA, F. (2017) Clase del III curso de especialización. Modelamiento de Nicho ecológico. Aplicaciones a la Ecología, Biogeografía y Conservación de Especies. Universidad Santo Tomás.
- LA TERCERA (2017) El 15% de las especies amenazadas en Chile está en proceso de tener un plan de recuperación. [En línea] < <http://www2.latercera.com/noticia/15-las-especies-amenazadas-chile-esta-proceso-plan-recuperacion/> > [Consultado: 03 enero 2018]
- LAZO, I., GINOCCHIO, R., COFRÉ, H., VILINA, Y. & IRIARTE, A. (2008) Nuestra diversidad biológica. Capítulo II. Biodiversidad de Chile, patrimonio y desafíos.

LAZZONI, I., MEDRANO, F., VIELMA, A. & VUKASOVIC, M. (2014). Recorriendo el valle de Camarones en búsqueda del picaflor de Arica (*Eulidia yarrellii*), una especie chilena gravemente amenazada.

LEAKEY, R. & LEWIN, R. (1998) La sexta extinción. El futuro de la vida y de la humanidad. *Metatemas. Libros para pensar la ciencia. Colección dirigida por Jorge Wagensberg. 2da edición.*

LEADER-WILLIAMS, N., ADAMS, W. & SMITH, R. (2010) Trade-offs in conservation: deciding what to save. *Conservation Science and Practice Series. Wiley-Blackwell publishing.*

LICONA-VERA, Y. & ORNELAS, J. (2014) Genetic, ecological and morphological divergence between populations of the endangered mexican sheartail hummingbird (*Doricha eliza*) *PLoS ONE* 9(7)

LONGORIA, C. (2001). Distribución hipotética de especies de aves y de mamíferos con categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2001 registradas en el Estado de Durango. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional. Centro interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional.

MACIEL-MATA, C., MANRÍQUEZ, OCTAVIO, P. & SÁNCHEZ, G. (2015) El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria. Multidisciplinary Scientific Journal.* 25(2).

MACLAURIN, J. & STERELNY, K. (2008). What is biodiversity? *The university of Chicago Press.*

MANZUR, M. (2005) Situación de la biodiversidad en Chile. Desafíos para la sustentabilidad.

MARTÍNEZ, J. (s.f) La evolución y la conservación de la biodiversidad. *Capítulo 23.*

MATEO, R., FELÍCIMO, A. & MUÑOZ, J. (2011) Modelos de distribución de especies: una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural* 84(2), 217-240.

MATEO, R., FELÍCIMO, A. & MUÑOZ, J. (2012) Modelos de distribución de especies y su potencialidad como recurso educativo interdisciplinar. *Reduca (Biología). Serie Ecología.* 5(1), 137-153.

MEDRANO, F. & VIELMA, A. (2016). Observando aves en la región de Arica y Parinacota: planicies litorales y valles. *Boletín Tarukari.*

MESEGUER, Ó., CORVACHO, O., TAPIA, A., LÓPEZ, J. & SARRICOLEA, P. (2017). Análisis de las temperaturas medias y sus extremos a partir de diferentes índices durante el período 1966-2015 en el norte grande chileno. *Diálogo Andino* 54, 31-40.

MILESI, F. & LOPEZ DE CASENAVE, J. (2005) El concepto de nicho en Ecología aplicada: del nicho al hecho hay mucho trecho. *Ecología Austral* 15, 131-148.

MILLER, J. (2005) Biodiversity conservation and the extinction of experience. *TRENDS in Ecology and Evolution* 20(8).

MILLER, B., SOULÉ, M. & TERBORGH, J. (2014) “New conservation” or surrender to development? *Animal Conservation. The zoological Society of London*.

MINISTERIO DE AGRICULTURA (2016) Estudio básico “diagnóstico para desarrollar plan de riego en región de Arica y Parinacota”

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (s.f.a) Inventario nacional de especies de Chile.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (s.f.b) Historia de la clasificación de especies según estado de conservación en Chile y del reglamento de clasificación de especies silvestres.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (s.f.c.) Inventario nacional de especies de Chile, *Eulidia yarrellii* (Bourcier, 1847). [En línea] <http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/ficha_indepen.aspx?EspecieId=6&Version=1> [Consultado: 24 septiembre 2017]

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (2014a) Quinto informe nacional de biodiversidad de Chile. Elaborado en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica y la aplicación del Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile, 140 pp.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (2014b) Red de microreservas en los Valles de Arica permitirá rescatar al ave más amenazada de Chile. [En línea] <<http://portal.mma.gob.cl/red-de-microreservas-en-los-valles-de-arica-permitira-rescatar-al-ave-mas-amenazada-de-chile>> [Consultado: 15 agosto 2017]

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (2016) Censo revela que población del ave más pequeña de Chile cae en 75% los últimos 12 años [En línea] <<http://portal.mma.gob.cl/10973-2/>> [Consultado: 16 agosto 2017]

MORENO, R. (2017) Clase del III curso de especialización. Modelamiento de Nicho ecológico. Aplicaciones a la Ecología, Biogeografía y Conservación de Especies. Universidad Santo Tomás.

MUTIA, T. (2009) Biodiversity conservation.

OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA) (2004) Producción y mercado de hortalizas en Arica. [En línea] <<https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/articulos/produccion-y-mercado-de-hortalizas-en-arica-2>> [Consultado: 20 agosto 2017]

OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA) (2007) Región de Arica y Parinacota, información Censo 2007.

OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA) (2017) Región de Arica y Parinacota. Información regional 2017.

PAPES, M. & GAUBERT, P. (2007). Modelling ecological niches from low numbers of occurrences: assessment of the conservation status of poorly known viverrids (Mammalia, Carnivora) across two continents. *Diversity and Distributions* 13, 890-902.

PAUCHARD, A. & VILLARROEL, P. (2002) Protected areas in Chile: history, current status, and challenges. *Natural areas journal* 22(4), 318-330.

PAUCHARD, A., AGUAYO, M., PEÑA, E. & URRUTIA, R. (2006) Multiple effects of urbanization on the biodiversity of developing countries: the case of a fast-growing metropolitan área (Concepción, Chile). *Biological conservation* 127, 272-281.

PELLET, P., UGARTE, E., OSORIO, E. & HERRERA, F. (2005) Conservación de la biodiversidad en Chile, ¿legalmente suficiente? La necesidad de cartografiar la ley antes de decidir. *Revista chilena de Historia Natural* 78, 125-141.

PÉREZ-SCHULTHEISS (2009) Biodiversidad, taxonomía y el valor de los estudios descriptivos. *Boletín de biodiversidad de Chile* 1(1), 1-14.

PETERSON, A. (2003). Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. *The quarterly review of biology* 78(4), 419-433.

PETERSON, A. & SOBERÓN, J. (2012). Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. *Natureza & Conservação* 10(2) 102-107.

PETERSON, A., SOBERÓN, J., PEARSON, R., ANDERSON, R., MARTÍNEZ-MEYER, E., NAKAMURA, M. & BASTOS, M. (2011). Ecological niches and geographic distributions. *Princeton University Press*.

PHILLIPS, S. & DUDÍK, M. (2008) Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 21, 161-175.

PIMM, S., JENKINS, C., ABELL, R., BROOKS, T., GITTLEMAN, J., JOPPA, L., RAVEN, P., ROBERTS, C. & SEXTON, J. (2014) The biodiversity of species and their rates of extinctions, distribution, and protection. *Science*, 344.

PLASENCIA, A. & ESCALONA, G. (2014) Caracterización del área de distribución geográfica potencial de las especies de aves psitácidas de la Península de Yucatán, México. *Revista de biología tropical* 62(4), 1509-1522.

PLASENCIA, A., ESCALONA, G. & ESPARZA, 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. (2011a). 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

- PLISCOFF, P. & FUENTES-CASTILLO, T. (2011b) Representativeness of terrestrial ecosystems in Chile's protected area system. *Environmental conservation* 38(3), 303-311.
- PLISCOFF, P., LUEBERT, F., HILGER, H., & GUISAN, A. (2014) Effects of alternative sets of climatic predictors on species distribution models and associated estimates of extinction risk: A test with plants in an arid environment. *Ecological Modelling*. 288, 166-177.
- QUEVEDO, P., VON HARDENBERG, A., PASTORE, H., ÁLVAREZ, J. & CORTI, P. (2015) Predicting the potential distribution of the Endangered huemul deer *Hippocamelus bisulcus* in North Patagonia. *Fauna y flora internacional*, pp. 1-9.
- RAMSAR (1994) Convención relativa a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas. Modificada según el Protocolo de París, 3.12.1982.
- REFOYO, P., MUÑOZ, B., POLO, I., OLMEDO, C. & RQUERO, A. (2013) El hombre como factor de extinción biológica. *Memorias Revista Social Española de Historia Natural*, 2(10).
- REGISTRO DE ACUERDOS INTERNACIONALES RELATIVOS AL MEDIO AMBIENTE (1993). Convenio internacional para la protección de las aves.
- ROMERO, C., PÉREZ, S., ZAMORANO, D., PINO, J., GODOY, J. & CALDERÓN, M. (2013). Proyecto BIOTA. Mapa chileno de la extinción de especies.
- SANDBROOK, C. (2015) What is conservation? *Fauna & Flora International. Onyx* 49(4), 565-566.
- SANTOS, T & TELLERÍA, J. L. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas* 2, 3-12
- SARANDÓN, S. (2010) Biodiversidad, agrobiodiversidad y agricultura sustentable: análisis del convenio sobre diversidad biológica. *Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones*
- SARRICOLEA, P., HERRERA-OSSANDON, M. & MESEGUER-RUIZ, Ó. (2017) Climatic regionalisation of continental Chile. *Journal of maps*. 13(2), 66-73
- SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (SAG) (2004) Boletín n°4.
- SEYFRIED, H., WORRIER, G., UHLIG, D., KOHLER, I. & CALVO, C. (1998). Introducción a la geología y morfología de los Andes en el norte de Chile. *Chungará (Arica)* 30(1), 7-39.
- SIMONETTI, J. (2011) Conservation biology in Chile: are we fulfilling our social contract? *Revista chilena de Historia Natural* 84, 161-170.

- SILES, G., BASTIDA, J., REY, P. & ALCÁNTARA, J. (2004) Modelos predictivos de distribución de especies de vegetación potencial en el incendio del “puerto de las palomas, sierra de Cazorla”, Jaén. *Cuad. Sociedad Española de Ciencias Forestales* 20, 167-172.
- SOBERÓN, J. (2005) Interpretation of models of fundamental ecological niches and species’ distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2 1-10.
- SOBERÓN, J. (2007) Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters* 10, 1115-1123.
- SOBERÓN, J. (2010) Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. *Ecography*. 33, 159-167.
- SOBERÓN, J. & MILLER, C. (2009) Evolución de los nichos ecológicos. *Miscelánea matemática* (49), 83-99.
- SOBERÓN, J. & NAKAMURA, M. (2009) Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions. *PNAS* (106), 19644-19650.
- SQUEO, F., ESTADES, C., BAHAMONDE, N., CAVIERES, L., ROJAS, G., BENOIT, I., PARADA, E., FUENTES, A., AVILÉS, R., PALMA, A., SOLÍS, R., GUERRERO, S., MONTENEGRO, G. & TORRES-MURA, J. (2010) Revisión de la clasificación de especies en categorías de amenaza en Chile. *Revista chilena de Historia Natural* 83, 511-529.
- TELETRECE (2014) Proyecto ambiental busca rescatar al Picaflor de Arica, el ave más amenazada de Chile. [En línea] < <http://www.t13.cl/noticia/actualidad/proyecto-ambiental-busca-rescatar-al-ave-mas-amenazada-de-chile> > [Consultado: 24 junio 2017]
- TINOCO, B., ASTUDILLO, P., LATTA, S. & GRAHAM, C. (2009) Distribution, ecology and conservation of an endangered Andean hummingbird: the Violet-throated Metalltail (*Metallura baroni*). *Bird Conservation International* 19, 63-76.
- TORRES, A. & AVECEDO, E. (2008) El problema de salinidad en los recursos suelo y agua que afectan el riego y cultivos en los Valles de Lluta y Azapa en el norte de Chile. *IDESIA* 26(3), 31-44.
- TORRES-MURA, J., CASTRO, S. & OLIVA, D. (2008) Conservación de la biodiversidad, capítulo III. Biodiversidad de Chile, patrimonio y desafíos.
- VAN DONGEN, W., LAZZONI, I., WINKLER, H., VÁSQUEZ, R. & ESTADES, C. (2013) Behavioural and genetic interactions between an endangered and a recently-arrived hummingbird. *Biol Invasions* 15, 1155-1168.
- WISZ, M., HIJMANS, J., PETERSON, A., GRAHAM, C., GUIBAN, A. & NCEAS PREDICTING SPECIES DISTRIBUTIONS WORKING GROUP. (2008) Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and distributions* 14, 763-773.

WWF (2006) WWF from 1961 to 2006. WWF's approach to conservation from its inception to 2006. [En línea]

< http://wwf.panda.org/knowledge_hub/history/wwf_conservation_1961_2006/>

[Consultado: 4 de agosto 2017]

YOUNG, N., CARTER, L. & EVANGELISTA, P. (2011) A MaxEnt model v.3.3.3e Tutorial (ArcGIS v10)

ANEXOS.

Anexo n°1.

Variación de la superficie plantada. Especies mayores

Especies mayores	Superficie en hectáreas (ha)	% Participación nacional
Almendro	0,01	0,000
Ciruelo japonés	0,02	0,000
Duraznero consumo fresco	0,03	0,001
Limonero	5,12	0,087
Manzano rojo	0,02	0,000
Membrillo	0,87	0,282
Naranja	37,9	0,560
Olivo	790,51	3,886
Palto	10,47	0,035
Peral	0,27	0,003
Vid de mesa	0,91	0,002
TOTAL	846,1	0,5

Tabla n° 25. “Variación de la superficie plantada. Especies mayores”. Fuente: CIREN, 2016. “Catastro frutícola Región Arica y Parinacota 2016 ODEPA-CIREN, pag. 16.

Variación de la superficie plantada. Especies menores

Especies menores	Superficie en hectáreas (ha)	% Participación nacional
Arándano americano	0,02	0,0
Chirimoyo	0,81	0,7
Datilera	0,06	30,0
Granado	2,69	0,2
Guayabo	12,95	48,5
Higuera	0,15	0,1
Lima	10,72	13,0
Lúcumo	0,11	0,1
Mandarino	13,58	0,3
Mango	76,51	54,3
Maracuyá	20,83	100
Níspero	0,01	0,0
Papayo	2,08	1,3
Pecana	5,59	25,4
Plátano	0,08	80,0
Pomelo	0,1	0,0
Tangelo	1,09	1,5
Tumbo	0,46	92,0

Tuna	0,58	0,1
Total	148,42	0,6

Tabla n° 26. “Variación de la superficie plantada. Especies menores”. Fuente: CIREN, 2016. “Catastro frutícola Región Arica y Parinacota 2016 ODEPA-CIREN, pag. 17.

Anexo n°2.

Tabla resumen sobre las diferentes concepciones del concepto nicho a través de los años.

Autor	Postulado
MacArthur (1968)	El término nicho es operativo cuando se usa en términos comparativos (diferencia entre nichos, nichos de una especie en dos lugares diferentes), donde sólo tiene sentido cuando el análisis se refiere a un ambiente homogéneo en cuanto al uso (fine-grained) y que el nicho de cada individuo es diferente.
Vandermeer (1972)	Asocia el nicho con el hábitat. Establece que los conceptos de Elton y Grinnell son versiones cualitativas de lo que Hutchinson define como nicho realizado y nicho fundamental.
Whittaker et al. (1973)	Establecen la separación entre “nicho” y “hábitat”, postulando que Elton y Hutchinson se referían al papel intracomunitario de la especie y que Grinnell se refería a las variables intercomunitarias o de hábitat.
Hurlbert (1981)	El nicho de Hutchinson tiene dos interpretaciones posibles diferentes y poco compatibles entre sí, que además es biológicamente idéntico a lo establecido por Grinnell.
James et al (1984)	Considera errada la propuesta de Whittaker et al, debido a que la simplificación del nicho de Grinnell a un equivalente de hábitat es erróneo.
Schoener (1989)	Estima que las similitudes entre Elton y Grinnell eran mayores que sus diferencias, similitudes tales como el explicar los equivalentes ecológicos y las variables relevantes. A su vez, opina que el uso moderno del concepto de nicho nace a partir del aporte de MacArthur y Levins (el cual estaba enfocado en los individuos y la utilización de los recursos por parte de las distintas especies) y no de Hutchinson.
Grieseimer (1992)	Establece que Grinnell intentaba explicar la especiación y que Elton había intentado explicar la estructuración de las comunidades
Leibold (1995)	Separa en dos grupos los postulados: Elton y MacArthur, por una parte, refiriéndose a nicho como el que involucra el impacto de los organismos sobre el entorno y los recursos, y Grinnell y Hutchinson por otro, considerando el efecto del entorno sobre los organismos.
Peterson (2003)	Al contrario de Leibold, relaciona a Elton y Hutchinson como aquellos que consideran el papel funcional de la especie, y a Grinnell y MacArthur que consideran las condiciones que limitan la distribución de la especie.

Tabla n°27. “Tabla resumen sobre las diferentes concepciones del concepto nicho a través de los años”. Fuente: Elaboración propia en base a Milesi & Lopez de Casenave, 2005. “El concepto de nicho en Ecología aplicada: del nicho al hecho hay mucho trecho”. Ecología Austral 15:131-148

Anexo n°3.

Principales hitos, políticas públicas y estrategias nacionales para la Conservación de la Biodiversidad en Chile.

Año	Descripción
1907	Creación de la Reserva Nacional Malleco
1940	Se adoptan las actuales categorías del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE): Parque Nacional, Reserva Nacional y Monumento Natural.
1970	CONAF asume la tarea de administrar y desarrollar Parque Nacionales, Reservas Forestales y Bosques Fiscales
1984	CONAF asume la Protección de los Recursos Naturales Renovables (Ley n°18.348) y se encarga del SNASPE (Ley n°18.362)
1986	Académicos proponen la necesidad de desarrollar un sistema de áreas marinas protegidas (AMP) (Castilla, 1986)
1989	Ley General de Pesca y Acuicultura (n°18.892) incorpora tres estrategias administrativas para la conservación de la biodiversidad marina: áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos (AMERB), reservas marinas y parques marinos
1994	Se promulga la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente. Dentro de ésta, se crea la CONAMA
1997	Primera reserva marina, La Rinconada (Antofagasta)
2002	Estrategias Regionales de Biodiversidad
2003	Estrategia Nacional de la Biodiversidad
2004	En el marco de la Estrategia Nacional de Biodiversidad (EMB), la CONAMA junto con el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), implementaron el proyecto GEF-Marino
2005	Declaratoria de reservas marinas isla Choros-Damas e Isla Chañaral, primera reserva marina con plan de administración
	Reglamento sobre Parque y Reservas Marinas, D.S. n°238/16.09.04 del Ministerio de Economía, que regula las actividades de estas áreas marinas protegidas
	Política Nacional de Áreas Protegidas
	Política Nacional de Especies Amenazadas.
	Estrategia Nacional para la Conservación y uso racional de los Humedales en Chile
	Plan de acción País de la Estrategia Nacional de Biodiversidad
2006	Estrategia Nacional de Cambio Climático
	Sistema de Clasificación de Humedales
	Sistema Nacional de Áreas Protegidas

2007	Creación del primer plan general de administración para reservas marinas en Chile
2008	Ley n°20.283, de Recuperación de Bosque Nativo y Fomento Forestal, fomenta la conservación, manejo y recuperación de la biodiversidad en terrenos privados.
	Creación del Ministerio del Medio Ambiente (Ley n°20.417)
	Sistema Regional de Áreas Protegidas (SIRAP)
	Política Nacional de Mejoramiento Genético del ganado Bovino y Ovino.
2009	Política para la Protección y Conservación de Glaciares.
2010	Creación del Parque Marino Motu Motiro Hiva

Tabla n°28. "Principales hitos, políticas públicas y estrategias nacionales para la Conservación de la Biodiversidad en Chile. Extraído de CONAMA, s.f. p.283; Jorquera-Jaramillo *et al.*, 2012. p.269

Principales cuerpos normativos en materia de biodiversidad.

Cuerpo Normativo	Descripción
Ley n°19.300/1994 MINSEGPRES	Ley sobre Bases Generales del Medio ambiente, modificada por la Ley 20.417
Ley n°20.283/2008 MINAGRI	Ley sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal
Ley n°20.256/2008 MINECON	Ley sobre Pesca Recreativa
Ley n°18.892/1989 MINECON	Ley General de Pesca y Acuicultura
Ley n°4.601/1929 Ministerio de Fomento	Ley de Caza
DS 4.3636/ 1931 Ministerio de Tierras y Colonización	Ley de Bosques
DS 95/2001 MINSEGRPRES	Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
DS 75/2005 MINSEGPRES	Reglamento de Clasificación de Especies
DS 5/1998 MINAGRI	Reglamento para la Ley de Caza

Tabla n° 29. Principales cuerpos normativos en materia de biodiversidad. Extraído de CONAMA, s.f. p.285

Anexo n°4. Categoría de conservación de las Especies

CATEGORÍAS DE CONSERVACIÓN ESTABLECIDAS POR LA IUCN	
Categoría	Descripción
Extinto (EX)	Se considera extinto cuando no queda ninguna duda razonable de que el último individuo existente ha muerto. Se presume que un taxón está extinto cuando la realización de prospecciones exhaustivas de sus hábitats, conocidos y/o esperados, en los momentos apropiados y a lo largo de su área de distribución histórica, no ha podido detectar un solo individuo. Las prospecciones deberán ser realizadas en períodos de tiempo apropiados al ciclo de vida y formas de vida del taxón
Extinto en estado silvestre (EW)	El taxón sólo sobrevive en cultivo, e cautividad o como población (o poblaciones) naturalizadas completamente fuera de su distribución original. La realización de prospecciones exhaustivas de sus hábitats, conocidos y/o esperados, en los momentos apropiados y a lo largo de su área de distribución histórica, no han podido detectar un solo individuo. Las prospecciones deberán ser realizadas en períodos de tiempo apropiados al ciclo de vida y formas de vida del taxón.
En peligro crítico (CR)	Se considera CR cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple cualquiera de los criterios "A" a "E" para En Peligro Crítico ¹ y, por consiguiente, se considera que se está enfrentando a un riesgo de extinción extremadamente alto en estado de vida silvestre
En peligro (EN)	Se considera EN cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple cualquiera de los criterios "A" a "E" para En Peligro ² y, por consiguiente, se considera que se está enfrentando a un riesgo de extinción demasiado alto en estado de vida silvestre.
Vulnerable (VU)	Se considera VU cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple cualquiera de los criterios "A" a "E" para Vulnerable ³ y, por consiguiente, se considera que se está enfrentando a un riesgo de extinción alto en estado de vida silvestre.
Casi Amenazado (NT)	Se considera NT cuando ha sido evaluado según los criterios y no satisface, actualmente, los criterios para "En peligro crítico", "En peligro" o "Vulnerable", pero está próximo a satisfacer los criterios, o posiblemente los satisfaga, en un futuro cercano.
Preocupación Menor (LC)	Se considera LC cuando, habiendo sido evaluado, no cumple ninguno de los criterios que definen las categorías de "En peligro crítico", "En peligro", "Vulnerable" o "Casi amenazado". Se incluyen en esta categoría taxones abundantes y de amplia distribución
Datos Insuficientes (DD)	El taxón es incluido en esta categoría cuando no hay información adecuada para hacer una evaluación, directa o indirecta, de su riesgo de extinción basándose en la distribución y/o condición de la población. Un taxón en esta categoría puede estar bien estudiado, y su biología puede ser bien conocida, pero carecer de los datos apropiados sobre su abundancia y/o distribución. "Datos insuficientes" no es, por lo tanto, una categoría de amenaza. Al incluir un taxón en esta

	<p>categoría, se indica que se requiere más información y se reconoce la posibilidad de que investigaciones futuras demuestren apropiada una clasificación de amenazada. Es importante hacer un uso efectivo de cualquier información disponible. En muchos casos habrá que tener mucho cuidado en elegir entre "Datos insuficientes" y una condición de amenaza. Si se sospecha que la distribución de un taxón está relativamente circunscrita, y si ha transcurrido un período considerable de tiempo desde el último registro del taxón, la condición de amenazado puede estar bien justificada.</p>
No Evaluado (NE)	<p>El taxón se considera NE cuando todavía no ha sido clasificado en relación a estos criterios.</p>
<p>¹ (A) Reducción del tamaño de la población que van desde el $\geq 90\%$; (B) Distribución geográfica en extensión de presencia o área de ocupación, o ambas, que va de un área de ocupación estimada menor a 10 km²; (C) Tamaño de la población estimada en menos de 250 individuos maduros; (D) Se estima que la población es menor a 50 individuos maduros; (E) el análisis cuantitativo muestra que la probabilidad de extinción en estado de vida silvestre es de, al menos, un 50% dentro de 10 años o tres generaciones, dependiendo cuál sea el período más largo (con un máximo de 100 años)</p>	
<p>² (A) Reducción del tamaño de la población siguiendo una serie de estándares que van desde $\geq 70\%$; (B) Distribución geográfica en extensión de presencia o área de ocupación, o ambas, que va desde una extensión de presencia estimada menor a 5000 km²; (C) Tamaño de población estimada en menos de 2500 individuos maduros; (D) Se estima el tamaño de la población que es menor a 250 individuos maduros; (E) El análisis cuantitativo muestra que la probabilidad de extinción en estado de vida silvestre es de, al menos, un 20% dentro de 20 años o cinco generaciones, dependiendo de cuál sea el período más largo (con un máximo de 100 años)</p>	
<p>³ (A) Reducción del tamaño de la población siguiendo una serie de estándares que van desde $\geq 50\%$; (B) Distribución geográfica en extensión de presencia o área de ocupación, o ambas, que va desde una extensión de presencia estimada menor a 20.000 km²; (C) Tamaño de población estimada en menos de 10.000 individuos maduros; (D) Población muy pequeña o restringida, ya sea con un tamaño de población menor a 1000 individuos maduros o a una población restringida en su área de ocupación o en el número de localidades, de tal manera que es vulnerable a los efectos de la act. humana o eventos fortuitos, y es por consiguiente capaz de cambiar a CR e incluso EX en un período muy corto de tiempo; (E) El análisis cuantitativo muestra que la probabilidad de extinción en estado de vida silvestre es de, al menos, un 10% dentro de 100 años.</p>	

Tabla n°30. Categoría de conservación de las Especies. Extraído de: Categorías y criterios de la lista roja de la UICN: versión 3.1, 2000. p.14-23 Segunda Edición. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido.

Anexo n°5. Categorías de conservación establecidas en la Ley n°19300 de Bases Generales del Medio Ambiente.

CATEGORÍAS DE CONSERVACIÓN ESTABLECIDAS EN LA LEY N°19.300 DE BASES GENERALES DEL MEDIO AMBIENTE.	
Categoría	Descripción
Extinta	Según el reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres, una especie se considerará Extinguida (extinta), cuando prospecciones exhaustivas en su hábitat conocido y/o esperado, efectuadas en las oportunidades apropiadas y en su área de distribución histórica, no hayan detectado algún individuo en estado silvestre
En peligro de extinción	Según el reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres, será considerada "En peligro de extinción" cuando enfrente un riesgo muy alto de extinción
Vulnerable	Se considerará "Vulnerable" cuando, no pudiendo ser clasificada en la categoría denominada "En peligro de extinción", enfrente un alto riesgo de extinción.
Insuficientemente Conocida	Se considera "Insuficientemente Conocida" cuando, existiendo presunciones fundadas de riesgo, no haya información suficiente para asignarla a una de las categorías de conservación antes mencionadas (extinta, en peligro de extinción o vulnerable)
Rara	Se considera a una especie como "Rara", cuando sus poblaciones ocupen un área geográfica pequeña, o estén restringidas a un hábitat muy específico que, en sí, sea escaso en la naturaleza. También se considerará "Rara" aquella especie que, en forma natural, presente muy bajas densidades poblacionales, aunque ocupe un área geográfica mayor. Para los propósitos del presente reglamento, las especies en esta categoría también podrán ser clasificadas en alguna de las categorías mencionadas con anterioridad, de acuerdo a la información disponible.
Fuera de Peligro	Una especie se considerará "Fuera de Peligro" cuando haya estado incluida en algunas de las categorías señaladas en los artículos anteriores y en la actualidad se la considere relativamente segura por la adopción de medidas efectivas de conservación o en consideración a que la amenaza que existía ha cesado.

Tabla n°31. Categorías de conservación establecidas en la Ley n°19300 de Bases Generales del Medio Ambiente.
 Extraído de: MMA, s.f.b Historia de la clasificación de especies según estado de conservación en Chile y del reglamento de clasificación de especies silvestres. p.5

Anexo n°6. Categorías de conservación establecidas en la modificación de la Ley n°19300 de Bases Generales del Medio Ambiente.

CATEGORÍAS DE CONSERVACIÓN ESTABLECIDAS EN LA LEY N°20.417 A TRAVÉS DE LA MODIFICACIÓN DE LA LEY N°19.300 DE BASES GENERALES DEL MEDIO AMBIENTE.	
Categoría	Definición
Extinta	Se considerará “Extinguida” (extinta) cuando las prospecciones exhaustivas en sus hábitats conocidos y/o esperados, efectuadas en las oportunidades apropiadas y en su área de distribución histórica, no hayan detectado algún individuo en estado silvestre. Se trata de especies que tampoco subsisten en cautiverio o cultivos.
Extinta en Estado Silvestre	Se le considerará Extinta en estado silvestre, cuando sólo sobrevive en cultivo, en cautividad o como población (o poblaciones) naturalizadas completamente fuera de su distribución original. Son especies para las cuales, luego de prospecciones exhaustivas en su hábitat conocido y/o esperado, efectuadas en las oportunidades apropiadas y en su área de distribución histórica, no hayan detectado algún individuo en estado silvestre.
En Peligro Crítico	Se considerará “En peligro crítico” cuando enfrente un riesgo extremadamente alto de extinción, es decir, la probabilidad de que la especie desaparezca en el corto plazo es muy alta. Para ser clasificada en esta categoría, la especie debe cumplir con los criterios técnicos que para dicha categoría fueron establecidos por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)
En Peligro	Se considerará “En peligro” cuando, no pudiendo ser clasificada en la categoría “En peligro crítico”, enfrente un riesgo muy alto de extinción, es decir, cuando la probabilidad de que la especie desaparezca en el mediano plazo es alta. Para ser clasificada en esta categoría, la especie debe cumplir con los criterios técnicos que para dicha categoría fueron establecidos por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)
Vulnerable	Se considerará “Vulnerable” cuando, no pudiendo ser clasificada en la categoría “En peligro”, la mejor evidencia disponible indica que cumple con alguno de los criterios establecidos por la UICN para tal categoría y, por consiguiente, se considera que está enfrentando un riesgo alto de extinción en estado silvestre.
Casi Amenazada	Se considerará como “Casi amenazada” cuando, habiendo sido evaluada, no satisface, actualmente, los criterios para las categorías “En peligro crítico”, “En peligro” o “Vulnerable”; pero está próximo a satisfacer los criterios de estos últimos, o posiblemente los satisfaga en un futuro cercano
Preocupación Menor	Se considerará “Preocupación menor” a aquellas especies que, siendo evaluadas, no cumplen con ninguno de los criterios que definen las

	<p>categorías de “En peligro crítico”, “En peligro”, “Vulnerable” o “Casi amenazada”. Se incluyen en esta categoría a especies abundantes y de amplia distribución, y que, por lo tanto, pueden ser identificadas como de preocupación menor. Es la categoría de menor riesgo</p>
Datos Deficientes	<p>No corresponde a una categoría de conservación. Se aplica a especies que no pueden ser clasificadas en alguna categoría de conservación porque faltan datos o información</p>

Tabla n°32. Categorías de conservación establecidas en la modificación de la Ley n°19300 de Bases Generales del Medio Ambiente. Extraído de: MMA, s.f.b Historia de la clasificación de especies según estado de conservación en Chile y del reglamento de clasificación de especies silvestres. p.6-7

Anexo n°7. Nomenclatura *Corine Land Cover (CLC)*.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
1. Superficies artificiales	1.1. Tejido urbano	1.1.1. Tejido urbano continuo
	1.2. Unidades industriales, comerciales y de transporte	1.2.1. Unidades de industria y comercio 1.2.2. Red de caminos y ferroviaria y las tierras asociadas 1.2.3. Áreas portuarias 1.2.4. Aeropuertos
	1.3. Sitios mineros, vertederos y construcción	1.3.1. Sitios de extracción mineral 1.3.2. Sitios vertederos 1.3.3. Sitios de construcción
	1.4. Áreas verdes artificiales no agrícolas	1.4.1. Áreas verdes urbanas 1.4.2. Instalaciones deportivas y recreativas
2. Áreas agrícolas	2.1. Tierra arable	2.1.1. Tierra no irrigada arable 2.1.2. Tierra permanentemente irrigada 2.1.3. Campos de arroz
	2.2. Cultivos permanentes	2.2.1. Viñedos 2.2.2. Plantaciones de árboles frutales y berries. 2.2.3. Campos de olivos
	2.3. Pastizales	2.3.1. Pastizales
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes 2.4.2. Patrones de cultivo complejos

		<p>2.4.3. Tierra principalmente ocupada para agricultura, con áreas significativas de vegetación natural</p> <p>2.4.4. Áreas agro-forestales</p>
3. Áreas forestales y semi naturales	3.1. Bosques	<p>3.1.1. Bosques frondosos</p> <p>3.1.2. Bosques coníferos</p> <p>3.1.3. Bosques mixtos</p>
	3.2. Vegetación arbustiva y/o herbácea	<p>3.2.1. Prados naturales</p> <p>3.2.2. Moros y brezales</p> <p>3.2.3. Vegetación esclerófila</p> <p>3.2.4. Bosques arbustivos de transición</p>
	3.3. Espacios abiertos con poca o nula vegetación	<p>3.3.1. Playas, dunas, arena</p> <p>3.3.2. Rocas desnudas</p> <p>3.3.3. Áreas con escasa vegetación</p> <p>3.3.4. Áreas quemadas</p> <p>3.3.5. Glaciares y nieve permanente</p>
4. Humedales	4.1. Humedales continentales	<p>4.1.1. Marismas continentales</p> <p>4.1.2. Turberas</p>
	4.2. Humedales marítimos	<p>4.2.1. Marismas</p> <p>4.2.2. Salinas</p> <p>4.2.3. Pisos intermareales</p>
5. Cuerpos de agua	5.1. Aguas continentales	<p>5.1.1. Cursos de agua</p> <p>5.1.2. Cuerpos de agua</p>
	5.2. Aguas marinas	<p>5.2.1. Lagos costeros</p> <p>5.2.2. Estuarios</p> <p>5.2.3. Mar y océano</p>

Tabla n°33. Nomenclatura Corine Land Cover (CLC). Fuente:
http://www.igeo.pt/gdr/pdf/CLC2006_nomenclature_addendum.pdf