

**FACULTAD DE
CIENCIAS AGRONÓMICAS
Y DE LOS ALIMENTOS**



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO**

TALLER DE TÍTULO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyección de los efectos del cambio climático en la aptitud del cultivo de palto (*Persea americana* Mill.) en Chile central

FERNANDA VICTORIA MONTERO SILVA

QUILLOTA, CHILE

2019

ÍNDICE

1.	Resumen.....	1
2.	Definición del problema.....	2
3.	Hipótesis	5
4.	Objetivos.....	6
4.1.	Objetivo General.....	6
4.2.	Objetivos Específicos	6
5.	Estado del arte	7
5.1.	IPCC.....	7
5.2.	Agricultura Mundial y Nacional.....	7
5.3.	Palto y cultivos perennes	9
5.4.	Chile central.....	10
6.	Metodología	12
6.1.	Resumen y contexto del método.....	12
6.2.	Objetivo específico	12
6.2.1.	Variable Respuesta: Ocurrencia del cultivo en Chile.....	12
6.2.2.	Variables Ambientales	13
6.3.	Objetivo específico	14
6.3.1.	Modelos estadísticos	14
6.4.	Objetivo específico.	14
7.	Plan de Trabajo.....	15
8.	Resultados esperados.....	16
9.	Proyecciones de la Investigación	17
10.	Presupuesto.....	18
11.	Bibliografía	19
12.	Anexos.....	22
12.1.	Anexo 1. Organigrama.....	22
12.2.	Anexo 2. Carta Gantt: plan de trabajo.....	23

1. Resumen

El aumento en la emisión de gases de efecto invernadero a partir de la era industrial ha cambiado sustancialmente la naturaleza atmosférica y climática del planeta. De dichos cambios se desprenden grandes consecuencias derivadas del fenómeno denominado *cambio climático*. Este nuevo escenario mundial, sitúa a la humanidad en una necesidad de comprensión y adaptación ante estos cambios. Esta memoria busca contribuir a con aquellos propósitos, y abordar la adaptación medioambiental en la agricultura, específicamente para el cultivo de palto (*Persea americana* Mill.) en Chile central.

Se espera determinar, desde un punto de vista agroclimático, los efectos del cambio climático en la aptitud de cultivo del palto. Esto, a través de una herramienta de modelación de nicho ecológico, el *software* Maxent, que a partir de la distribución geográfica actual del palto, y de las condiciones ambientales que le corresponden a dicha presencia, proyectará el cambio de la superficie idónea de cultivo en el país, para diferentes escenarios de cambio climático.

Los resultados esperados proponen un desplazamiento de la aptitud del cultivo hacia la zona sur del territorio continental. Se espera además, una disminución generalizada de la superficie apta para su desarrollo.

Finalmente, esta proyección espera contribuir con herramientas y matices para planes de adaptación o mitigación en los posibles efectos del cambio climático en la agricultura nacional.

2. Definición del problema

Las alteraciones provocadas por el ser humano en la Tierra son sustanciales, sus efectos pueden ser visualizados fácilmente en la actualidad y se estima que ellas continúen en aumento (Vitousek et al., 1997). Prácticas humanas como la agricultura, la industria, recreación o comercio internacional, han alterado la superficie terrestre, los ciclos biogeoquímicos y han modificado especies y material genético a un ritmo nunca antes visto en la historia del planeta; estos y otros parámetros justifican para Vitousek (1997) denominar la era actual como un *planeta dominado por humanos*.

Se le denomina *cambio climático* a la modificación de las condiciones meteorológicas con respecto al historial climático en una escala global o regional. Dicho fenómeno se debe tanto a causas naturales como antropogénicas. Sin embargo, en La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), se acuña el término para referirse solo a causas humanas:

“Se entiende por “cambio climático” como un cambio de clima, atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables”

Párrafo 1, Art. 2 (ONU, 1992)

Muy relacionados a la definición anterior, es importante mencionar los denominados *gases con efecto invernadero* (GEI), que absorben parte de la radiación termal que emite la Tierra y la reenvían a la superficie terrestre, esto modifica el equilibrio energético y provoca un aumento en la temperatura de la superficie (Abdón & Javier, 2008). Si bien esto es un fenómeno natural, las dimensiones que se han alcanzado en las últimas décadas superan los valores históricos planetarios, especialmente en lo que respecta a las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂). Más de un 80% de las emisiones de este gas provienen de la minería y el uso de combustibles fósiles, el resto, de procesos como el cambio de uso de suelo a ecosistemas agrícolas o de baja biomasa (Abdón & Javier, 2008). Los niveles preindustriales de CO₂ atmosférico se mantuvieron entre las 180 ppm y 280 ppm por casi 650.000 años. Luego, a partir de los años cincuenta se logra visualizar un alza drástica, superando las 400 ppm en el año 2013 (IPCC, 2014).

Así como aumentan los niveles de gases de efecto invernadero, aumenta inherentemente la temperatura global, atmosférica y oceánica. Las últimas tres décadas han sido las más calurosas de la historia, con un aumento de temperatura de 0,85°C entre 1880 y 2012 (IPCC, 2014). Derivado a esto, existen diversos fenómenos, por ejemplo, el retroceso de los glaciares, la disminución de isotermas cero, cambio en la naturaleza de las precipitaciones y aumento en la frecuencia de eventos extremos como inundaciones, sequías u olas de calor (Abdón & Javier, 2008).

Con lo anterior, se puede inferir que la agricultura es una contribuyente a las amenazas ambientales del cambio climático. En efecto, uno de los mayores desafíos del presente siglo es satisfacer las necesidades alimenticias de una sociedad en constante crecimiento y, al mismo tiempo, reducir los posibles daños ambientales de los sistemas agroforestales. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), las tierras de cultivo usan aproximadamente un 38% de la superficie terrestre de la Tierra y es responsable del 30 - 35% de las emisiones de GEI en el planeta, principalmente por deforestación, emisiones de metano del ganado, cultivos de arroz y emisiones de óxido nitroso de los suelos fertilizados (Foley *et al.*, 2011).

Al mismo tiempo, autores como Jones (2005) han estudiado los efectos indirectos del clima a través de los cultivos de importancia global. El autor encontró que a partir de los años cincuenta, ha existido un aumento promedio de 1,3 °C de las temperaturas en veintisiete zonas productoras de vino de alta calidad. En la misma línea, Mills-Novoa *et al.* (2016), estudia la idoneidad de las variedades tradicionales de vino en el valle del Río Maipo, las cuales ven limitada su capacidad para la producción de uvas de alta calidad, bajo diferentes condiciones de cambio climático, sugiriendo una tendencia hacia variedades que posean una madurez de cultivo en temperaturas más cálidas. La agricultura, como vulnerable y contribuyente a dichos cambios, supone una necesidad de interpolarse a los estudios climáticos.

Chile ha avanzado en políticas de información y adaptación al respecto, uno de los últimos informes oficiales, la “Tercera Comunicación Nacional” presentada ante la CMNUCC el año 2016, muestra una modelación del territorio chileno ante los efectos del cambio climático. Las conclusiones consideran, un aumento generalizado de las temperaturas para los años 2031 – 2050, con mayor alza en la zona altiplánica. Las precipitaciones por su parte, pretenden descender, para llegar a un período más seco

comparado con la media histórica. Se pronostica, por ejemplo, una disminución del 5 – 15% de los valores actuales de precipitaciones en las cuencas del centro-sur del país. La región de Valparaíso, ubicada en Chile central, se posiciona como la cuarta zona más influyente en el sector frutícola del país, con una participación de un 17,4% del total nacional de especies frutales mayores. Al mismo tiempo, es el palto (*Persea americana* Mill.) una de las especies cultivadas más importantes en la región, con una extensión de 19.135 ha, que conforma el 36% de la superficie frutal de la región¹ y el 63,6% de la participación de la superficie de palto nacional (CIREN, 2017). El fruto ha tomado peso en la dieta de la canasta básica familiar del país, aumentando en un 300% de su presencia en los mercados mayoristas de distribución nacional desde 1990² (ODEPA, 2018). Chile es el segundo exportador de paltos a nivel mundial, con un promedio de 113.458 ton exportadas en los últimos diez años (FAO, 2018). Posicionando a este frutal como uno de los más influyentes en la zona central y el país. Ahora bien, este cultivo también es un punto de interés para el análisis social y ecosistémico de la región, se ha estudiado bajo diferentes aristas, por ejemplo, la tendencia creciente de plantaciones en ladera de la zona en las últimas décadas han modificado la condición de suelos, dejándolos descubiertos y disgregado, favoreciendo escorrentía y erosión (Youlton, 2010). Además, zonas de alta producción de paltos, como la provincia de Petorca, han llamado la atención de medios internacionales, como *Danwatch*, medio danés que realiza una investigación en los años 2016-2017, en torno a problemáticas de escasez hídrica, y a las implicancias productivas y sociales que tiene el cultivo de palto en la zona (Danwatch, 2017).

Finalmente, la mayor parte de las proyecciones agrícolas se concentran en fenómenos mundiales o nacionales, siendo necesario trabajar en niveles más finos de información (Mills-Novoa, et al., 2016). La repercusión de esta proyección puede incentivar o dar la pauta para la planificación a mediano y largo plazo de los usos de tierra, la gestión del agua, cuidados ecosistémicos y la economía agraria en general (Parker & Abatzoglou, 2018). La ausencia de información que logre aunar las nuevas tendencias eco-atmosféricas de uno de los principales cultivos de la región de Valparaíso, en Chile central, suscitan el entendimiento general del problema y la realización de este proyecto.

¹ 52.619 ha cultivadas de especies frutales en la región.

² 1990(9.233 kg) hasta 2017 (37.221kg).

3. Hipótesis

El país ha generado variados informes y proyecciones de las respuestas ambientales esperadas al cambio climático. Santibáñez (2008), por ejemplo, concluye que las regiones agrícolas del país sufrirán una aridización generalizada, en respuesta a la declinación pluviométrica esperada, y con ello un aumento de la posibilidad de heladas. Se generará un desplazamiento de las actuales zonas agroclimáticas hacia el sur. Se reconoce además, a los cultivos frutales como aquellos de mayor vulnerabilidad en su respuesta al cambio climático, debido a su fenología menos dinámica. Se estima que es posible una reducción en los tiempos de desarrollo, sumado a un aumento de la precocidad de la madurez de los mismos.

A nivel regional, el único frutal proyectado frente al cambio climático es la vid, en el marco de la investigación internacional realizada por Hannah et al. (2013). El estudio muestra cómo el valle del Aconcagua disminuirá su potencial de cultivo considerablemente, debido a que el aumento de las temperaturas afectará al cultivo directa e indirectamente (se prevé la disminución de agua de riego disponible en la región).

Por otra parte, se ha estudiado el cultivo de palto en la región mediterránea de California, similar en clima y amenazas frente al cambio climático. La investigación proyecta un desplazamiento de la aptitud de cultivo del frutal hacia zonas que hoy son consideradas más frías (Lobell et al., 2006).

En consideración a lo anterior, se determinan las siguientes hipótesis de investigación:

- 3.1. Disminución de la superficie de cultivo para la zona central de Chile, en los diferentes escenarios de cambio climático.
- 3.2. Desplazamiento de la aptitud agrícola del cultivo de palto hacia el sur del país.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Evaluar, desde un punto de vista agroclimático, los posibles efectos del cambio climático en el nicho del cultivo de Palto (*Persea americana*) para Chile, con especial énfasis en la zona central del país.

4.2. Objetivos Específicos

- 4.2.1. Generar un mapa de distribución de la superficie actual del cultivo de palto en Chile.
- 4.2.2. Correlacionar la distribución espacial del cultivo de palto con las variables de temperatura y precipitaciones.
- 4.2.3. Proyectar, bajo los distintos escenarios de cambio climático, la superficie apta para el cultivo de palto.

5. Estado del arte

5.1. IPCC

En 1988 surge el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), establecido en conjunto por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con la finalidad de analizar, evaluar y formular estrategias en base a la información científica relacionada al problema del cambio climático (IPCC, 2007). Para generar métodos de evaluación y adaptación a los impactos del cambio climático, el IPCC estableció escenarios climáticos futuros, tomados de modelación global que considera diversos escenarios de emisiones de GEI hasta 2100 (CEPAL, 2009).

En un primer acuerdo, estos escenarios de emisiones se agrupan en familias, las cuales no poseen probabilidades de acaecimiento, es decir, el uso de las mismas es de libre elección del usuario. De forma general, la familia A2 está basada en un crecimiento de la población elevado y continuo con un avance tecnológico gradual (generalmente denominado como un cambio “severo”). La familia B2, tiene un aumento moderado de la población, sin embargo, un énfasis en energías renovables y preocupación por la sostenibilidad (denominado como un cambio “optimista”). (IPCC, 2000). En el año 2013, en el marco del Quinto Informe de Emisiones, el IPCC mejora la calidad de sus proyecciones y crea cuatro nuevos escenarios, denominados Trayectorias de Concentración Representativas (RCP³). El escenario RCP 2.6, más optimista, proyecta un aumento promedio de 1°C hacia fines de siglo, los escenarios moderados RCP 4.5 y RCP 6 un aumento promedio de 2,1°C y finalmente, el RCP8.5, como cuadro más catastrófico, un aumento promedio de 3,7 °C.

5.2. Agricultura Mundial y Nacional

La compleja relación de vulnerabilidad, contribución y mitigación de la agricultura con respecto al cambio climático ha sido estudiada en variadas ocasiones. Ramankutty et al. (2002) hace una primera estimación de la superficie de suelo con aptitud agrícola a nivel mundial en función de las limitaciones provocadas por un clima cambiante. Sus resultados muestran que la superficie cultivada mundial aumentó en un 120% desde el año 1992, con una tendencia a continuar aumentando. Posiciona también, a las potencias del Hemisferio

³ Por sus siglas en inglés (Representative Concentration Pathways)

Norte, como las más vulnerables a los efectos del cambio en temperatura y precipitaciones, disminuyendo su potencial de cultivo. Se habla además de una gran “reserva” de tierras cultivables en Sudamérica tropical y África, sin embargo, muchas de dichas reservas constituyen áreas protegidas, y son suelos que pueden perder fertilidad muy rápidamente si se elimina la cubierta forestal. Se visualiza la responsabilidad de conservación de espacios, de la mano a oportunidades económicas frente a grandes países productores y consumidores.

El cambio en los patrones de producción agrícola también es un posible camino de estudio de los efectos del cambio climático. Hannah et al. (2013) lo hace a través de la viticultura: las zonas mediterráneas del planeta (veranos cálidos y secos, inviernos fríos y húmedos) son importantes en cuanto a biodiversidad endémica, exótica y cultivada a nivel mundial. Este clima es particularmente adecuado para la vid, producción que mide eficientemente los impactos indirectos del cambio climático debido a su sensibilidad al ambiente. Los resultados son particularmente relevantes para esta memoria, pues abarcan la zona mediterránea nacional, es decir, Chile central. Se concluye que el área adecuada para la viticultura disminuirá en promedio un 49% en las principales regiones productoras de vino para 2050 en un escenario RCP 8.5, y un promedio de 40% para las mismas regiones en un escenario RCP 4.5. De forma particular, Chile es posicionado como la zona mediterránea en donde mayores impactos existirán en cuando al agua dulce, los valles productores de vino disminuirán considerablemente su potencial o se volverán inadecuados, generando un posible sobreuso de agua para enfriar las uvas y cambios en los requerimientos de riego. Dichos efectos, son perfectamente extrapolables al cultivo de palto, pudiendo contribuir en forma conjunta, a un aumento del estrés hídrico ya existente en la región.

En la misma línea de adaptabilidad de las tierras de cultivo, existe un modelamiento frente a los diferentes escenarios de emisión de los cultivos mayores (maíz, soya, trigo y arroz) a nivel mundial. Los rendimientos medios de maíz y soja se estancarán en cualquier escenario de calentamiento, incluso con manejos agronómicos. Por otro lado, en los países de bajos ingresos socioeconómicos y de latitudes bajas, se verá un posible beneficio en el rendimiento de maíz, soja, trigo y arroz. Se plantean además, las superficies cultivadas esperadas para cada uno de ellos. Un escenario de emisión RCP 2.6 favorecerá al maíz y la soja a nivel mundial. Un escenario RCP 8.5 puede reducir sustancialmente la presencia de estos dos

cultivos, pero a la vez ser beneficioso para arroz y trigo (Iizumi et al., 2017), suponiendo un cambio en las tendencias alimenticias según los diversos escenarios de emisión de GEI.

5.3. Palto y cultivos perennes

Persea americana Mill. es una especie de la familia de las Lauráceas, originaria de México y difundida en gran parte de Sudamérica. Se recomiendan altitudes entre 800 y 2500 m.s.n.m., para evitar enfermedades de raíces. La resistencia a las temperaturas dependerá de las variedades; se considera 1.200 mm anuales de precipitación como suficientes. Las sequías prolongadas provocan pérdida de rendimientos y un exceso de precipitación en floración y fructificación. Reduce también la producción, provocando caída de frutos. Los suelos más apropiados para las plantaciones son de textura ligera, profundos y bien drenados, con pH neutro o ligeramente ácido (5.5 a 7.0), aunque también puede cultivarse en franco arcillosos y arcillosos con buen drenaje (Castro & Espinosa, 2008).

Los cultivos perennes, como el palto, se encuentran dentro de los más vulnerables al cambio climático por su lenta capacidad de adaptación (Santibáñez et al., 2008). Nuevamente, el clima mediterráneo es óptimo para este tipo de especies. Lobell *et al.* (2006) evaluaron el impacto del cambio climático en los principales cultivos perennes de California. Concluyen que disminuirán los rendimientos de almendras, nueces, paltos y uva de mesa para el año 2050. Se identificaron oportunidades para la expansión a regiones más frías, pero esta adaptación requeriría grandes inversiones económicas y podría estar limitada por restricciones no climáticas. Dadas las largas escalas de tiempo para el crecimiento y la producción de huertos y viñedos, el cambio climático debe ser un factor fundamental para seleccionar variedades perennes y decidir si sigue siendo factible la expansión de dichos cultivos. Y si es así, encontrar un lugar estratégico donde se deban reinstalar. Respecto a los al cultivo de palto en California, los resultados no son sustancialmente significativos, debido a que existe una falta de información para la extrapolación de la proyección, sin embargo, se logra prever una disminución de los rendimientos y el área de cultivo tanto en un aumento de 2°C y 4°C. La tendencia de movimiento es hacia zonas originalmente más frías.

Es escasa la información referente a la adaptación de cultivos perennes al cambio climático, más reducida aún para el cultivo de palto. Algunas de las sugerencias y desafíos

contemplados en el estudio de Lobell *et. al* (2006), es el uso de nuevas variedades. Propone una adaptación hacia variedades resistentes a las nuevas temperaturas, lo cual es complejo, debido al hábito intrínseco de este tipo de frutales que, como se menciona anteriormente, ralentiza dicho proceso.

5.4. Chile central

La región de Valparaíso está en una zona de transición vegetacional entre las formaciones semiáridas a las mediterráneas, caracterizado por ecosistemas esclerófilos. Compuesta de árboles y arbustos de hoja dura y resistentes a cambios de temperatura y humedad propios de la zona. Actualmente, predominan formaciones de arbustos y cactáceas. La región presenta numerosos cursos de agua, los principales ríos son el Petorca, La Ligua y Aconcagua. Existen además, hoyas hidrográficas menores que nacen en la Cordillera de la costa y que son de tipo pluvial (Castro & Espinosa, 2008).

Le corresponde a Valparaíso por su parte, la zona agroclimática comprendida entre las latitudes 32°30'S y la 33°30'S. Las características históricas del lugar, hicieron que el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (1989), lo definiera como una zona con un clima benigno y apto para cultivos de invierno y verano (con riego). Dentro de las recomendaciones de cultivo están especies como membrillos, almendros, olivos y paltos.

Para lograr realizar una proyección completa de la situación del palto en la región, es importante posicionar el cultivo más allá de las condiciones de temperatura y precipitaciones. A inicios de los años ochenta comienzan las plantaciones de palto en laderas (correspondiente en sus orígenes a bosque y matorral esclerófilo) en la región. Se extienden con camellones a favor de la pendiente, normalmente a suelo desnudo. Esto significó una oportunidad muy rentable para los productores locales, debido al bajo costo de las tierras y la resistencia a las heladas. Sin embargo, al cuantificar la erosión y escorrentía que estas prácticas generaban en los suelos, se demuestra una pérdida 650 veces mayor en los suelos con camellón desnudo respecto a zonas con presencia de vegetación nativa. La escorrentía, por su parte, incrementa 90 veces en áreas con camellones, respecto a aquellas sin intervención (Youlton, 2005).

La vegetación esclerófila mediterránea también ha sido estudiada respecto a su comportamiento en torno al cambio climático. En un escenario RCP 8.5, se espera una disminución en el área de distribución en todas las especies arbóreas, principalmente en la zona costera. Mientras que aquellas comunidades dominadas por especies arbustivas nativas, encontraron un hábitat más estable, asociado con una mayor capacidad de adaptación a las proyecciones futuras (Bambach & Meza, 2013). Es esta intervención relevante, pues como se analizó anteriormente, la mayor parte de las laderas cultivadas con palto conviven con especies arbustivas nativas, quienes pueden ser encargadas de una regulación de los cambios venideros en el paisaje.

En el año 2015, el Centro de ciencia del Clima y la Resiliencia, presenta los principales aspectos y alcances de la denominada Megasequía que experimenta el país, especialmente importante en la zona centro-sur del territorio. Cerca de un cuarto del déficit en precipitaciones se pueden atribuir al cambio climático antrópico. Se analiza la diferencia en la condición hídrica de las cuencas: simulaciones preindustriales, es decir, sin efecto antrópico, una megasequía ocurre en promedio cada 300 años. Luego, el período comprendido entre 1850-2005 considerando un incremento en los GEI, muestran una megasequía cada 100 años. Finalmente, las simulaciones para 2050, en escenarios pesimistas de emisiones, mostrarían dicha condición cada 20 años. A medida que pasan los años, una sequía como condición transitoria pasa a ser una tendencia prácticamente continua (CR2, 2015). El agua es, sin duda una necesidad básica del pato y cualquier cultivo, por tanto este panorama es vital de considerar.

5.5. Nicho ecológico

La definición de este término se genera desde la ecología, y es el concepto de Hutchinson (1957), el más utilizado: un hipervolumen de n-dimensiones, en donde están presentes los factores o condiciones ambientales necesarias para que una especie pueda sobrevivir. Posteriormente, la ciencia desarrolla los modelos predictivos y algoritmos con el fin de proyectar en el espacio ecológico y geográfico, de forma estadística, los nichos de las especies (cita). Este es el fundamento para la realización de la modelación del palto para Chile central, en donde se utilizarán las condiciones climáticas mencionadas para el análisis regional de adaptación del cultivo.

6. Metodología

6.1. Resumen y contexto del método

Para la realización de la metodología es necesario conocer el *nicho ecológico* del palto, con el fin de proyectar dicho nicho, en distintos escenarios de cambio climático. Para ello se utiliza el *software* MAXENT, el cual estima distribuciones de probabilidad de máxima entropía, restringido por la información ambiental.

De forma general, son necesarios tres pasos para la modelación: Primero, la generación de la base de datos, luego, la generación del modelo estadístico a través del software, y finalmente, la predicción y proyección espacial del cultivo en estudio (Plissock & Fuentes-Castillo, 2011).

Los modelos de distribución usan como base de datos dos tipos de fuentes de información: la Variable Respuesta, correspondiente a la presencia o ausencia de, en este caso, cultivo de *P. americana* a lo largo del territorio chileno y, la selección de las variables ambientales que definen el espacio geográfico. La modelación establece una relación entre la posición geográfica en dónde se encuentra emplazado el cultivo y el conjunto de variables ambientales en donde estos se ubican.

Como se describe a continuación, los objetivos específicos son coincidentes con los pasos propios de la modelación:

6.2. Objetivo específico: Generar un mapa de distribución de la superficie del cultivo de palto en Chile (Base de datos)

6.2.1. Variable Respuesta: Ocurrencia del cultivo en Chile

Los datos para la presencia de *P. americana* en el territorio chileno se obtienen desde el repositorio público *Infraestructura de Datos Geoespaciales* (IDE) chileno, del Ministerio de Bienes Nacionales (disponible en: <http://www.ide.cl/descarga/capas.html>, repositorio público en línea).

La recopilación usará como guía de georreferencia la capa “Censo Nacional Agropecuario” realizado por CIREN en el año 2007. La revisión de las superficies de frutales mayores en el territorio continental muestran un total de 569 distritos con presencia de palto a nivel nacional, con una distribución que se concentra principalmente entre las regiones de Atacama y El Maule, con una presencia escasa en Antofagasta y la región de Arica y Parinacota.

Como es necesario precisar, ampliar y actualizar los datos, se utilizará método de *Índice de vegetación de diferencia normalizada* (NDVI), que, a través de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del *espectro electromagnético* de la vegetación, específicamente las del cultivo de palto, logrará estimar la cantidad y desarrollo de las plantas en superficies geográficas determinadas.

Los datos de distribución serán trabajados a través del *software* Arcgis, utilizando como base la capa shape de CIREN del año 2007, actualizando la información a través del método NDVI y finalmente, se realizará una verificación en terreno, en los principales sitios de ubicación, en donde se realizará georreferenciación (a través de aparato GPS especializado), medición de fotosíntesis de plantas y registro fotográfico de los huertos visitados.

6.2.2. Variables Ambientales

i. Bioclimáticas: La base de datos internacional Worldclim (disponible en: <http://www.worldclim.org/>, repositorio público en línea) otorga el componente bioclimático de la modelación. Se utilizará una resolución espacial de 30 segundos de arco ($\sim 1 \text{ km}^2$) que incluye 19 variables bioclimáticas, principalmente de temperatura y precipitación.

Con el fin de acercarse a la realidad agrícola nacional, se estima la realización de un contraste entre dos posibles escenarios: (i) con el uso total de las variables bioclimáticas disponibles y, (ii) con ausencia de variables de precipitaciones, conservando únicamente el factor de humedad relativa. Esto, con el fin de analizar el factor de riego dentro de la modelación, importante al considerar la problemática hídrica mencionada con anterioridad.

ii. Topo-edáficas: De igual forma, con objeto de posicionar el modelamiento lo más próximo a la realidad agropecuaria nacional, se incorporan variables edáficas, proporcionadas por el Centro de Información de Recursos Naturales, en un compilado nacional denominado "Capas de Información Geográfica asociadas al Estudio Agrológico de suelos". De igual forma, para la incorporación del factor de cultivos en ladera, se considerarán los niveles de altura del nicho. Ambas variables serán recopiladas de IDE Chile.

- 6.3. Objetivo específico: Correlacionar la distribución espacial del cultivo de palto con las variables de temperatura y precipitaciones (Análisis de datos)

6.3.1. Modelos estadísticos

Ya definidas las variables de ocurrencia y bioclimáticas, el siguiente paso será la calibración y evaluación de la modelación. La calibración responde al análisis estadístico que permitirá correlacionar la presencia de los organismos, a distintas escalas espaciales y sobre diferentes espacios geográficos. El *software* Maxent permite la generación de superficies de respuestas, que muestra la distribución de las presencias sobre las variables climáticas seleccionadas de forma gráfica. Posteriormente, se realizará la evaluación de la modelación, también llamada validación, donde se generará una matriz de confusión o error, en que la ocurrencia se compara con las ausencias o presencias reales, esto permite calcular indicadores como la sensibilidad (positivos verdaderamente predichos) y sensibilidad del modelo (negativos verdaderamente predichos) (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

- 6.4. Objetivo específico: Proyectar, bajo los distintos escenarios de cambio climático, la superficie apta para el cultivo de palto.

Por último, se proyectará la distribución de palto en los diversos escenarios de cambio climático en Chile, se generará una predicción para los perfiles de ocupación del nicho, tanto para un escenario optimista RCP 2.6 como catastrófico RCP 8.5, se generará entonces un perfil de idoneidad del nuevo hábitat de forma gráfica a través del *software* Maxent (Peña-Gomez *et. al*, 2014). Para ajustes en la creación de los mapas se utilizará el *software* ArcGis.

7. Plan de Trabajo

La realización de la investigación requiere un equipo de trabajo⁴, el cual estará conformado por:

- **Ingeniero/a Agrónomo (IA)**, responsable de la gestión de la investigación y cumplimiento óptimo de sus etapas. Realización de la metodología, del análisis e interpretación de los resultados y de la difusión de los mismos.
- **Ecólogo/a o geógrafo/a (G)**, responsable de supervisar y guiar la aplicación del método de *Índice de vegetación de diferencia normalizada* (NDVI). También tiene participación en análisis de resultados.
- **Estadístico/a (E)**, responsable del análisis de los resultados obtenidos a partir del funcionamiento del software.
- **Ayudante de investigación (Ay)**, responsable de colaborar con la recopilación de información en terreno en la etapa de verificación de los datos georreferenciados.

Además, se identifican en Tabla 1, las etapas para la realización de la investigación⁵:

ETAPA	NOMBRE	PARTES
0	Revisión bibliográfica	i. Recopilación de información sobre palto en catastros frutícolas
		ii. Capacitación en software MaxEnt y ArcGis
		iii. Capacitación en uso de método NDVI
I	Aplicación de la metodología	i. Generación de base de datos de ocurrencia
		ii. Generación de base de datos climáticas
		ii.Verificación de datos en terreno
II	Análisis de datos y resultados	i. Digitalización de datos en software MaxEnt
		ii. Análisis estadístico de resultados
		iii. Modelación en distintos escenarios de cambio climático
III	Difusión	i. Diseño de material multimedia
		ii. Organización y realización de charla de difusión

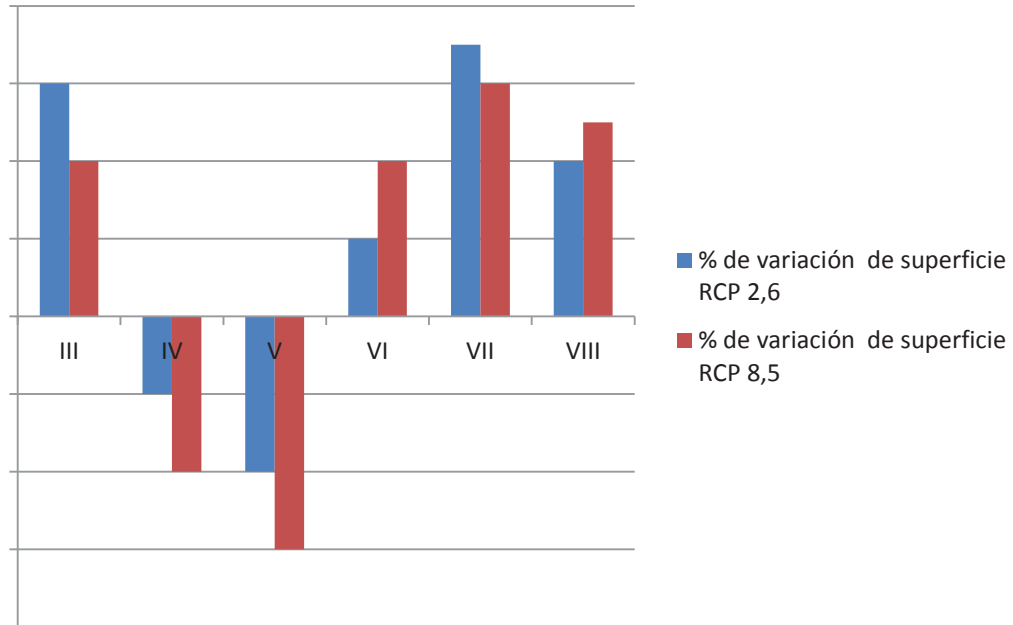
Tabla 1. Etapas de la investigación. Fuente: Elaboración propia, 2018

⁴ Anexo 1. Organigrama de trabajo

⁵ Anexo 2. Carta Gantt: plan de trabajo, se desglosan las etapas mencionadas

8. Resultados esperados

Tabla 2. Estimación del porcentaje de variación de la superficie plantada de plato para las principales regiones productoras, en diferentes escenarios de cambio climático.



9. Proyecciones de la Investigación

Como proyección inmediata, la investigación generará una herramienta agroclimática, para uno de los principales cultivos frutales a nivel nacional y regional. Herramienta necesaria para complementar los planes de adaptación al cambio climático existentes a nivel nacional. Como se menciona anteriormente, el estudio y proyección de la disponibilidad de cultivos a nivel más fino es una oportunidad para realizar análisis comparativos regionalmente, proporcionando una comprensión más amplia de las formas técnicas de resiliencia frente al cambio (Mills-Novoa *et al.*, 2016).

Por otro lado, es un ejercicio replicable a otros cultivos frutales de importancia nacional, como son el nogal o el cerezo. La finalidad última sería la generación de una planificación agrícola y de formaciones vegetacionales en todo el territorio. Desde un nivel macro, a través de las superficies cultivables actuales y esperadas, se pueden interpolar factores como la escasez hídrica, precipitaciones, temperaturas, efecto en zonas de conservación protegidas, etc. Y a nivel más micro, propiciar la generación de nuevas variedades que se adapten a las condiciones venideras, tecnificación de los sistemas de riego, variación hacia formas cada vez más sustentables de producción.

Además de la responsabilidad agrícola, herramientas como la generación de proyecciones frente al cambio climático a niveles locales, permite determinar zonas de posible abandono, o que cambien su capacidad de uso de suelo, pudiendo planificar también la regeneración de los ecosistemas perdidos. Todo esto, en busca de contribuir a los compromisos nacionales de responsabilidad ante la mitigación de los gases de efecto invernadero y de sus consecuencias.

Finalmente, esta investigación busca avanzar hacia una visión paisajística de los espacios, a comprender el territorio como una unidad compleja, en donde debe generarse un equilibrio entre aspectos locales y globales de información. Busca avanzar en una comprensión sobre la naturaleza multifacética de las problemáticas ambientales, en consecuencia, la necesidad de participación y voluntad de actores públicos, privados, gubernamentales, educativos y en fin, de cada escalón de la sociedad.

10. Presupuesto

Tabla 1. Presupuesto investigación

ÍTEM	COSTO UNITARIO /MENSUAL (\$)	UNIDADES	MESES	TOTAL (\$)
PERSONAL				10.340.000
Ingeniero/a Agrónomo	500.000	1	12	6.000.000
Ecólogo/a o geógrafo/a	500.000	1	5	2.500.000
Estadístico/a	400.000	1	2	800.000
Ayudante de investigación	260.000	1	4	1.040.000
GASTOS DE INVERSIÓN				2.060.000
Computador	1.500.000	1		1.500.000
GPS	100.000	1		100.000
Cámara fotográfica	400.000	1		400.000
Impresora	60.000	1		60.000
GASTOS DE OPERACIÓN				9.015.000
<i>Softwars</i>				
Licencia ArcGis (1 año)	62.000	1		62.000
Capacitación de software	266.000	1		266.000
<i>Transporte</i>				
Arriendo vehículo	510.000	1	4	2.040.000
Bencina	600.000		4	2.400.000
Viajes a Santiago	40.000	5		200.000
Viáticos	1.000.000		4	4.000.000
<i>Material de oficina</i>				
Lápices y destacadores	5.000	2		10.000
Cadtrige de tinta	10.000	2		20.000
Resma de papel	3.500	2		7.000
Libretas para datos	5.000	2		10.000
GASTOS DE DIFUSIÓN				30.000
Charla de difusión	30.000	1		30.000
SUBTOTAL				21.445.000
Overhead (15%)				3.216.750
TOTAL				24.661.750

Fuente: Elaboración propia, 2018

11. Bibliografía

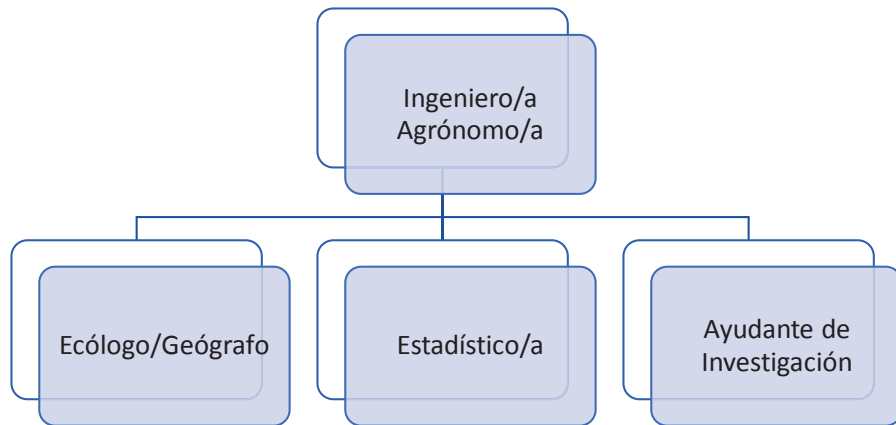
- Abdón, L., & Javier, F. (2008). *Cambio climático: consecuencias y desafíos para Chile*. Centro Interdisciplinario de Cambio Global (CICG-UC). Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Bambach, N., & Meza, F. (2013). Impacts of climate change on the distribution of species and communities in the Chilean Mediterranean ecosystem. *Regional Environ Change*, 13, 1245-1257.
- Bambach, N., Meza, F. J., Horacio, & at., e. (2013). Impacts of climate change on the distribution of species and communities in the Chilean Mediterranean ecosystem. *Regional Enviromental Change*, 13(6), 1245-1257.
- Castro, R., & Espinosa, M. (Julio de 2008). Evaluación Ambiental de plantacions de paltos en laderas. Cuenca del río Petorca, Región de Valparaíso, Chile. *Trabajo de titulación Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- CEPAL. (2009). *La Economía del Cambio Climático en Chile, Informe de Síntesis*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina, Naciones Unidas.
- CIREN. (2017). *Catastro Frutícola Región de Valparaíso, principales resultados*. Santiago, Chile: CIREN, ODEPA.
- CR2. (2015). *La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro*. Santiago Chile: Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2.
- Danwatch. (18 de Marzo de 2017). *Avocados and stolen water*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2018, de Danwaych: Stolen water: <https://old.danwatch.dk/en/undersogelse/avocados-and-stolen-water/>
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., & al., e. (20 de Oct de 2011). Solutions for a cultivated planet. *NATURE*, 478(7369), 337-342.
- Hannah, L., & al., e. (Abril de 2013). Climate change, wine, and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 110(17), 6907-6912.
- Houghton, J., Callander, B., & S.K., V. (1992). *Climate change 1992: The supplemental Report to the IPCC Scientific Assesment*. Cambridge UK: Cambridge University Press.

- lizumi, T., & al, e. (2017). Responses of crop yield growth to global temperature and socioeconomic changes. *Scientific Reports*, 7 (1)(7800), 1 -10.
- INIA. (1989). *Mapa Agroclimático de Chile*. Santiago de Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA.
- IPCC. (2000). *Informe Especial del IPCC, Escenarios de Emisiones, Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación*. Ginebra, Suiza: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).
- IPCC. (2014). *Cambio Climático 2014: Informe de síntesis*. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación de IPCC. Ginebra, Suiza: IPCC.
- Jones, G. (2005). Climate change and global wine quality. *Climatic Change*, 73(3), 319 - 343.
- Lagos. (2008). *Atlas geográfico sub-regional de la comuna de Putaendo*. Santiago, Chile: MINEDUC.
- Lobell, D. B., Field, C. B., Cahillb, K., & Bonfils, C. (2006). Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties. *Agricultural and Forest Meteorology*, 141(2-4), 208-218.
- Mills-Novoa, M., Pszczólkowski, P., & Meza, F. (2016). The Impact of Climate Change on the Viticultural Suitability of Maipo Valley, Chile. *The Professional Geographer*, 1-13.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2016). *Tercera Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de Las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Santiago: Departamento de Cambio Climático.
- ODEPA. (2013). *Cambio climático., impactos en la Agricultura, Heladas y Sequía*. Santiago, Chile: Ministerio de Agricultura, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias.
- ONU. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC)*. Nueva York, Estados Unidos: Naciones Unidas.
- Parker, L. E., & Abatzoglou, J. T. (Mar. de 2018). Shifts in the niche of almond under climate change. *Climatic Change*, 147(1-2), 211-224.
- Peña-Gomez, F., Guerrero, P., Bizama, G., Duarte, M., & Bustamante, R. (2014). Climatic Niche Conservatism and Biogeographical Non-Equilibrium in *Eschscholzia*

- californica (Papaveraceae), an Invasive Plant in the Chilean Mediterranean Region. *Plos One*.
- Pliscoff, P., & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, 48, 61-79.
- Ramankutty, N., Foley, J., Norman, J., & McSweeney, K. (2002). The global distribution of cultivable lands: current and sensitivity to possible climate change. *Global Ecology & Biogeography*, 11, 377- 392.
- Santibáñez, F., Santibáñez, P., & Solis, L. (2008). *Análisis de la vulnerabilidad del sector agropecuario, recursos hídricos y edáficos de Chile, frente a escenarios de cambio climático*. Santiago de Chile: AGRIMED, Universidad de Chile, CONAMA.
- SEA. (2018). *Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental*. Recuperado el Octubre de 2018, de Ficha del proyecto: Embalse Chacrilas:
http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=3465564
- Vitousek, P., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (25 de Julio de 1997). Human Domination on Earth's Ecosystems. *Science*, 494-499.
- Youlton, C. (2005). Cuantificación de la erosión en camellones a favor de pendiente para el cultivo frutal de laderas en el valle de Quillota, V Región, Chile. *Taller de Licenciatura*. Quillota, Chile: Ponticia Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía.
- Youlton, C. (2010). Quantification and control of runoff and soil erosion on avocado. *Ciencia e Investigación Agraria*, 37(3), 113-123.

12. Anexos

12.1. Anexo 1. Organigrama



Fuente: Elaboración propia, 2018

12.2. Anexo 2. Carta Gantt: plan de trabajo

Etapa	Tarea	1 AÑO												Responsable
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
0	i. Información de catastros frutícolas	■	■	■										IA
	ii. Capacitación en <i>software</i> Maxent y ArcGis			■	■	■								IA
	iii. Capacitación en uso de método NDVI			■	■									IA, G
I	i. Generación de base de datos de ocurrencia				■	■	■	■						IA
	ii. Generación de base de datos climáticas				■	■								IA
	iii. Verificación de datos en terreno						■	■	■	■				IA, Ay
II	i. Digitalización de datos en <i>software</i> Maxent						■	■		■	■			IA
	ii. Análisis estadístico de resultados									■	■	■		IA, G
	iii. Modelación en escenarios de cambio climático									■	■	■		IA, G
III	i. Diseño de material multimedia												■	IA
	ii. Organización y realización de charla de difusión												■	IA

Fuente: Elaboración propia, 2018