

Fundamentos Científicos acerca del Impacto Ambiental del Otorgamiento de Planes de Manejo de Corta de Vegetación Nativa para la Recuperación de Terrenos con Fines Agrícolas

Introducción

Este documento se ha generado por un grupo de científicos/as (indicados al final del mismo) como respuesta al Recurso de Protección N° 33.748-2020 interpuesto por la Sociedad Nacional de Agricultura (SNA) a raíz del Dictamen N°6.271/2020 de la Contraloría General de la República, donde la Contraloría señala la ilegalidad de los Planes de Manejo aprobados por la Corporación Nacional Forestal (CONAF) para ejecutar eliminación y reemplazo de vegetación nativa (especialmente bosques de Espino *Acacia caven* y esclerófilo, y formaciones xerofíticas de Chile central), por cultivos agrícolas (principalmente de Palto *Persea americana*) bajo el nombre de Manejo de Corta de Bosque Nativo para Recuperación de Terrenos con Fines Agrícolas. En su recurso de Protección la SNA presenta supuestos beneficios ambientales de la eliminación de los ecosistema vegetacionales nativos y su cambio de uso de suelo para fines agrícolas, los cuales desde nuestra perspectiva no tienen asidero alguno en base a la evidencia científica disponible. Justamente estas acciones de cambios de uso de suelo (ejemplos en Figuras 1-4), tienen un efecto significativo y negativo sobre el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales, el resguardo de la calidad de las aguas y el cuidado y mantención de los suelos, los cuales se encuentran contenidos en el espíritu de la legislación ambiental de nuestro país.

A continuación presentamos los componentes científicos considerados clave para interpretar el rol que juegan los ecosistemas forestales de *Acacia caven*, bosque esclerófilo en general y las formaciones xerofíticas nativas de Chile central en la conservación de la biodiversidad, la regulación y mantención del régimen hídrico, el control de la erosión y conservación del suelo, y la captura de carbono, todos ellos servicios ambientales esenciales para la sociedad y el desarrollo del país siguiendo los Objetivos de Desarrollo Sostenible declarados por Naciones Unidas (ONU 2019).

El documento concluye con una breve síntesis de la historia reciente de la expansión agrícola y otras consecuencias socio-ambientales que se han documentado en Chile central. Los autores del presente documento se encuentran ordenados en orden alfabético al final del mismo (76 científicos/as de 15 Universidades chilenas).

Impactos de la Eliminación de Bosque Nativo y Reemplazo por Plantaciones Agrícolas en Chile Central: Conceptos y Pérdida de Funciones Ecosistémicas Claves

- 1) Es importante aclarar que los conceptos de “productividad de cultivos” y “rentabilidad” no tienen relación directa con “importancia ecológica o ambiental” en el contexto de la funcionalidad ecosistémica (una especie cumple funciones a nivel de una comunidad, no individualmente), ni con la provisión de beneficios para el ser humano. La evidencia científica indica que el establecimiento de monocultivos con implementación de prácticas agrícolas convencionales como la intensificación agrícola, que incluye alto uso de agroquímicos e insumos externos (agua, energía), generaría impactos negativos en los servicios ecosistémicos del suelo y en la calidad

de los acuíferos, lo cual finalmente afecta el bienestar de la humanidad (Powlson et al., 2011; Cardinale et al., 2012; Blanco-Canqui et al., 2015; Kehobe et al., 2017).

- 2) También consideramos relevante declarar que, si bien los suelos son fundamentales para la seguridad alimentaria, estos ofrecen muchos otros servicios (o beneficios) ecosistémicos (Wall et al., 2012). Por este motivo, aún si los suelos se consideran “improductivos económicamente” esto no los hace menos “valiosos o rentables” para los seres humanos o para los ecosistemas. Por ejemplo, los suelos albergan la mayor biodiversidad en los ecosistemas terrestres, parte de la cual es fundamental para la obtención de medicamentos (ej. decenas de antibióticos, entre ellos el de la cura de la tuberculosis) (Comerford et al., 2012).



Figura 1. Proceso de tala y eliminación total de bosque esclerófilo para la habilitación de plantaciones de paltos en el sector de Quilicura, Las Cabras Región de O’Higgins, Chile. Fotografías septiembre 2019. Nótese la tala rasa con destronque total mediante maquinaria pesada, con acopio y acumulación de biomasa en decenas de puntos ladera abajo. La magnitud de la eliminación de bosque y biomasa se puede apreciar en el número y tamaño de acopios indicados con las flechas de color blanco.

Considerando que solo alrededor de entre el 1 y 10% de la biodiversidad microbiana de los suelos se ha descrito, la reserva biológica de estos y su potencial biotecnológico

y médico es incalculable. Además, los suelos son un componente esencial a la hora de considerar soluciones basadas en la naturaleza para la mitigación de los efectos del cambio climático, debido a su alta capacidad de almacenamiento de carbono. Junto a la vegetación nativa, muchos de estos beneficios son alterados o perdidos de forma irremediable tras severos cambios de uso de suelo como lo son la eliminación de vegetación nativa para el establecimiento de actividades agrícolas (Fu et al., 2015).

- 3) Gran parte de los ecosistemas xerofíticos de Chile central que son eliminados y reemplazados por plantaciones de monocultivos de frutales están dominados por Espino (*Acacia caven*), la cual es una especie leguminosa (Fabaceae) que gracias a sus nódulos simbióticos de bacterias de *Rhizobium* permiten la fijación de nitrógeno desde la atmósfera, nutriente esencial para su propio consumo, enriqueciendo el suelo y mejorando su fertilidad de forma natural. Es preciso mencionar que ninguna de las especies frutales mencionadas por la SNA tiene la capacidad de fijar nitrógeno del aire a través de sus raíces. Para consultar en detalle la multiplicidad de efectos positivos del *Acacia caven* sobre las propiedades físicas y químicas del suelo se puede consultar Soto et al. (2015). Así como *Acacia caven*, otros árboles y arbustos nativos (e.g., *Baccharis linearis*) que acompañan las formaciones vegetacionales reemplazadas por plantaciones de monocultivos de frutales, tiene un rol clave en el proceso natural de regeneración de la vegetación xerofítica de Chile central, por lo que su eliminación, tiene consecuencias a nivel del ecosistema (Cuevas et al. 2013). Para conocer sobre el valor silvopastoril de las formaciones de *Acacia caven*, se puede consultar las revisiones hechas por Root-Bernstein & Jaksic (2013) y por Olivares (2016).
- 4) La destrucción de los ecosistemas nativos de Chile central (principalmente espinales y bosque esclerófilo) para su reemplazo por plantaciones agrícolas implica la remoción de la biomasa original y la posterior labranza del suelo, produciéndose además de la pérdida de biodiversidad asociada, pérdida de carbono y una pérdida importante de la estabilidad estructural del suelo. Lo anterior desencadena procesos continuos de erosión eólica e hídrica, los cuales pueden llegar a ser severos si se desarrollan en pendiente como es el caso de los cultivos de paltos y cítricos en laderas de Chile central (Casanova et al., 2013). Las estimaciones de CIREN (2010) identifican los sectores en pendiente de la Cordillera de la Costa como altamente susceptible a procesos de erosión, con los consiguientes problemas de pérdidas de recurso suelo y arrastre de sedimentos. Por otra parte, el desarrollo y mantención de plantaciones de frutales en laderas consideran el tránsito de maquinaria, generando procesos de compactación de suelo severos (Seguel et al., 2013, 2015). Por este tipo de razones el estudio de Atucha et al. (2013) concluye que la erosión de suelo y escurrimiento superficial de las plantaciones de palto como se realizan actualmente, no son ambientalmente sustentables. En la Figura 1 se puede ver un ejemplo de la intervención que corta y elimina la vegetación nativa para el establecimiento posterior de cultivos de frutales en laderas.

Otros ejemplos del impacto ambiental de estas intervenciones se pueden observar a lo largo del presente documento en la Figuras 2, 3 y 4 en los sectores de la Llay-Llay, Catemu y La Ligua, región de Valparaíso.



Figura 2. Impacto de la deforestación de vegetación nativa para la habilitación de cultivos agrícolas en laderas de cerros de la zona de Llay-Llay (izquierda) y Catemu (derecha), cuenca del Río Aconcagua, Región de Valparaíso, Chile. Nótese el suelo desnudo posterior a la corta y eliminación de la vegetación sometido a la erosión eólica e hídrica.

- 5) Por otra parte, el cultivo de paltos en laderas generalmente considera una intervención en forma de “camellones” a favor de la pendiente, los que en los primeros años generan severos procesos de erosión y pérdida de suelo, la que continúa incluso en huertos establecidos si no se protege el suelo con cobertura vegetal (Youlton et al., 2010; Atucha et al., 2013). Así mismo, Atucha et al. (2013) registró una alta concentración de herbicidas en el agua de escurrimiento superficial de plantaciones de paltos cultivados en laderas sin cobertura vegetal, lo que, tal como concluyen sus autores, representa una potencial contaminación de fuentes de agua para consumo humano.
- 6) Los especies arbóreas y arbustivas en ecosistemas semiáridos tienen un rol ecológico fundamental para el establecimiento de otras especies vegetales (e.g., sucesión ecológica), ya que tienen un rol de “especies nodrizas” proporcionando refugios para la regeneración de los ecosistemas contribuyendo a la mantención de su biodiversidad (Fuentes et al., 1986; Cuevas et al., 2013; Root-Bernstein et al., 2017). Estos “refugios” se traducen en mantención de la humedad del suelo, aumento en la disponibilidad de nutrientes y disminución de la temperatura y evaporación en comparación con áreas adyacentes. Esto es vital para la mantención y sucesión ecológica de los ecosistemas semiáridos y biodiversidad asociada, siendo reconocidos globalmente por su capacidad para ayudar a detener la desertificación (Maestre et al., 2009), mantener la biodiversidad y multifuncionalidad de los ecosistemas (Eldridge et al., 2011; Maestre et al., 2012).
- 7) El ecosistema Mediterráneo de Chile central es reconocido globalmente como una región de biodiversidad singular por el alto grado de endemismo que alberga, y al mismo tiempo las graves amenazas que se ciernen sobre este (Myers et al., 2000). El endemismo se refiere a la condición de presentar especies únicas en el mundo que residen y evolucionaron solamente en una zona particular, en este caso, que se desarrollan solamente en Chile. A modo de ejemplo, el 40% de las especies vegetales de Chile central son endémicas, lo cual demuestra el grado de importancia de la conservación de este ecosistema a nivel global (Bannister et al., 2012). De la misma forma, los ecosistemas vegetales de Chile central albergan un alto número de especies de mamíferos endémicos donde destacan *Octodon spp*, *Spalacopus cyanus*, *Chelemys macronyx* (especie única de su género en el mundo), *Phyllotis darwini*, entre otras (Muñoz-Pedreros & Yáñez 2009). Recientemente se ha descrito que los ecosistemas forestales de climas semiáridos albergan aproximadamente el 30% de la diversidad

evolutiva de las especies de árboles, lo que indica que pueden llegar a ser igual o más diversos que un bosque tropical (Segovia et al., 2020). Una gran parte de las especies endémicas de Chile, especialmente herbáceas y arbustivas de bajo “valor comercial”, se distribuyen en ecosistemas áridos y semiáridos de Chile Central, específicamente en espinales, bosques esclerófilos, y formaciones xerófitas (Moreira-Muñoz, 2014).

- 8) Chile Central, a pesar de tener un reconocimiento como zona de importancia global para la conservación de la biodiversidad (*hotspot de biodiversidad*), concentra los ecosistemas más amenazados de nuestro país y tiene los niveles más bajos de superficie protegida por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado (Alaniz et al., 2016; Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011). Se considera que junto con especies amenazadas como el guayacán (*Porlieria chilensis*), hay alrededor de 50 especies herbáceas amenazadas, en Peligro de extinción y vulnerables en los ambientes xerófitos, esclerófilos y de espinales de Chile central (Ministerio de Medio Ambiente, 2020).
- 9) Al reconocimiento internacional como reservorio de biodiversidad, se suma en la región de Valparaíso la presencia de la “Reserva de la Biosfera La Campana - Peñuelas”, que pretende ser un ejemplo de desarrollo sustentable para Chile y el mundo (Moreira-Muñoz et al., 2019). Una parte importante de la sección norte de esta Reserva de importancia mundial se encuentra sometida a la expansión de los cultivos en laderas, concretamente en las comunas de La Cruz, La Calera, Hijuelas y Llay Llay, provincias de San Felipe, Quillota y Marga Marga.
- 10) En la actualidad los bosques de *Acacia caven* constituyen una de las formaciones vegetacionales con menor representación dentro del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011; Moya et al., 2014; Luebert & Pliscoff, 2017). Por esta razón está siendo utilizado y evaluado como ejemplo de “colapso ecosistémico”, es decir, como ejemplo de un ecosistema en el proceso máximo de degradación ambiental (Bland et al., 2018, Pliscoff et al., 2019).

Acerca de los Impactos Ambientales de las Plantaciones de Monocultivos Agrícolas

- 1) El término “recuperación de suelos para fines agrícolas” entra en contradicción directa con un gran cuerpo de literatura asociada a la recuperación de suelos y ecosistemas en general. En primer lugar, transformar un bosque en un sistema agrícola necesariamente implica deforestación, pérdida de biomasa, biodiversidad y suelo, por lo que no es factible que un ecosistema natural remplazado por cultivos agrícolas intensivos pueda tener como fin y resultante una “recuperación de suelos” (Lambin & Meyfroidt 2011). Un meta-análisis de más de 400 estudios científicos, indica que la agricultura es considerada como una de las principales actividades que causan impactos negativos a gran escala en los ecosistemas terrestres, generando cambios en biodiversidad y funciones ecosistémicas (Jones et al. 2018), por lo tanto en ningún caso la agricultura podría actuar como un agente de recuperación a costa de la destrucción de los ecosistemas naturales.
- 2) Por otro lado, en cuanto a la mención que se hace en el documento de la SNA a la autoridad en la materia del Sr. Elir Rojas indicado como Académico del Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, es necesario

aclarar que ello es FALSO pues el Sr. Rojas no es académico de dicha casa de estudios. Por otra parte, como académicos/as de Facultades de las Ciencias Agrarias, Forestales y relacionadas a los Recursos Naturales, desconocemos los mencionados estudios del Sr. Rojas sobre esta materia o similar. En relación con los paltos conformando bosques, es necesario aclarar que cualquier cubierta arbórea que es intensamente regada puede alcanzar una gran biomasa y cobertura. Sin embargo, esto no implica que una plantación de paltos constituya un bosque ya que carece de la estructura y funciones propias de este tipo de ecosistemas, como serían la mantención de la biodiversidad nativa, la regulación del régimen hídrico y la generación de hábitats para flora y la fauna, entre otros. Un cultivo de paltos NO es un bosque y SI es una plantación para cultivo agrícola de tipo intensivo.



Figura 3. Imágenes satelitales mostrando la eliminación de vegetación nativa para establecimiento de cultivos de paltos en la localidad de La Ligua. Las imágenes muestran que hasta el año 2011 la cuenca estaba cubierta de un mosaico de bosque esclerófilo, mientras que en 2018 la cobertura vegetal había sido eliminada y completamente removida.

- 3) Respecto al concepto de Bosque que debe ser tomado en cuenta para su efectiva protección, cual es el espíritu de la Ley N° 20.283 sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal:
 - a) La Ley N° 20.283, define en su Artículo 2° al Bosque Nativo como al “bosque formado por especies **autóctonas**, provenientes de generación natural, regeneración natural, o plantación bajo dosel con las **mismas especies existentes en el área de distribución original**, que pueden tener presencia **accidental** de especies exóticas distribuidas al azar.”
 - b) Los bosques son ecosistemas naturales donde los árboles ocupan el estrato superior de la comunidad vegetal. Los bosques son resultado de una historia evolutiva conjunta de todas las especies que forman parte de estos ecosistemas e interactúan entre ellas y con el suelo, la atmósfera, el ciclo hidrológico, la geomorfología, los fenómenos geológicos y climáticos (Odum, 1997). En los bosques, los seres vivos tienen interacciones complejas, y frente a perturbaciones naturales tienen la capacidad de recuperarse mediante relaciones coordinadas. Si un sitio que tenía un bosque, en un momento dado no cuenta con árboles ocupando el estrato superior porque recientemente ocurrió un incendio, ese sitio tiene aún la potencialidad de recuperar su

condición de bosque por medio de propágulos si transcurre el tiempo y no se impide que esto ocurra. Ese sitio, entonces, tiene una condición de bosque natural potencial, aunque no cuente con la cobertura arbórea en el dosel en ese momento dado.

- c) Por su parte, las formaciones xerofíticas, al igual que los bosques, son resultado de la dinámica evolutiva de los seres vivos y sus adaptaciones a los cambios físicos del sistema de origen geológico y climático que en la zona central de Chile tiene la particularidad de presentar clima mediterráneo, con un nivel alto de exposición solar y seco durante los meses de verano, por lo tanto, sus especies son principalmente arbustos y/o suculentas con espinas (Rundel y Cowling., 2013). Es importante destacar que las formaciones xerofíticas de Chile central, así como toda la vegetación de esta zona son uno de los cinco puntos del planeta con ecosistemas mediterráneos, con un excepcional grado de endemismo, haciendo a esta región prioritaria a escala global para la conservación biológica (Myers et al., 2000; Brooks et al., 2006; Moreira-Muñoz 2014).
- d) La Ley Sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal reconoce al bosque nativo como un:

“sitio poblado con formaciones vegetales en las que predominan árboles y que ocupa una superficie de por lo menos 5.000 metros cuadrados, con un ancho mínimo de 40 metros, con cobertura de copa arbórea que supere el 10% de dicha superficie total en condiciones áridas y semiáridas y el 25% en circunstancias más favorables, formado por especies autóctonas, provenientes de generación natural, regeneración natural, o plantación bajo dosel con las mismas especies existentes en el área de distribución original, que pueden tener presencia accidental de especies exóticas distribuidas al azar”.

Y reconoce a las formaciones xerofíticas como una:

“Formación vegetal, constituida por especies autóctonas, preferentemente arbustivas o suculentas, de áreas de condiciones áridas o semiáridas, ubicadas entre las Regiones I y VI, incluidas la Metropolitana y la XV y en las depresiones interiores de las Regiones VII y VIII”.

Si bien la Ley tiene los objetivos de proteger, recuperar y mejorar los bosques nativos con el fin de asegurar la sustentabilidad forestal y la política ambiental, en el Título IV se describe un fondo de conservación, recuperación y manejo sustentable del bosque nativo que en el Artículo 22, identifica una bonificación destinada a contribuir a solventar el costo de actividades que favorezcan la regeneración, recuperación o protección de formaciones xerofíticas de alto valor ecológico o de bosques nativos de preservación. Por lo tanto, tanto el bosque nativo como las formaciones xerofíticas son parte del patrimonio natural que este cuerpo legal busca proteger. Por este motivo, el reemplazo y eliminación de bosques nativos o de formaciones xerofíticas por plantaciones de especies exóticas de frutales no se alinea con los objetivos de la Ley de Bosque Nativo, sino más bien estas acciones van en contra del espíritu de este cuerpo legal. Además, la pérdida de este patrimonio natural, la eliminación de bosques nativos afecta el cumplimiento de compromisos internacionales asumidos por el país como son las metas descrita en la Contribución Nacional Determinada (NDC) basadas en las actividades de forestación, restauración, y manejo de bosque

nativo y formaciones xerofíticas; como así también las metas establecidas en la Agenda 2030 sostenida en los Objetivos de Desarrollo Sostenible y especialmente aquella relacionada con la gestión sostenible de los bosques, la lucha contra la desertificación y la detención de la degradación de las tierras y la pérdida de biodiversidad (ODS 15, Vida de los Ecosistemas Terrestres).

- e) En Chile, el catastro de bosques de CONAF entrega información sobre el cambio de uso de suelo que ha afectado los bosques, determinando por la variación entre el aumento (ganancia) y disminución (pérdida) de superficie forestal dentro de una región geográfica. Esta variación espacio-temporal de superficie de bosque está definida por la cobertura arbórea. Sin embargo, la ganancia de bosque no es el reflejo opuesto de la pérdida de bosque. La pérdida de bosque puede documentarse claramente con una secuencia de imágenes satelitales o fotos aéreas (e.g. Miranda et al., 2017). En cambio, la ganancia de bosque es un proceso variable que debe considerar la funcionalidad del bosque, cual depende de la interacción entre las especies y su entorno, que es difícil analizar con las definiciones comúnmente utilizadas. En resumen, como los ecosistemas xéricos son claves por la multiplicidad de servicios ecosistémicos que entregan, se debería aplicar la definición de un ecosistema de bosque del Convenio sobre la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas (CDB, ONU 1992), es decir un ecosistema forestal (bosque) es un sistema dinámico y complejo de plantas, animales y comunidades de microorganismos que interactúan con los factores abióticos del medio ambiente, donde los árboles y arbustos son el componente clave del sistema.
- f) La sustitución de bosque nativo es el proceso por el cual se elimina un ecosistema natural y se reemplaza por un sistema productivo manejado de manera intensiva, es decir, plantaciones o cultivos de alta densidad con individuos de la misma especie genéticamente iguales o muy similares, que generalmente requieren de mayor uso de pesticidas y fertilizantes, y que en sus prácticas de manejo (establecimiento, desarrollo y cosecha) generan una mayor producción de sedimentos y mayor uso de agua que ecosistemas naturales. Desde un punto de vista biológico, una plantación altera los flujos de materia y energía, requiriendo más energía y material que sistemas naturales más diversos (Chaplin-Kramer et al., 2015; Braun et al., 2017; Cifuentes-Croquevielle et al., 2020). La homogeneidad de estos cultivos monoespecíficos de árboles hace a estos sistemas más vulnerables a perturbaciones como sequías, incendios y pestes, pudiendo generar una gran pérdida económica para el país y las generaciones futuras (Anderegg et al., 2018; Schnabel et al., 2019, Oliver et al. 2015). Una buena muestra de esto fueron los **incendios** de enero-febrero de 2017, considerados los más grandes de la historia de Chile hasta la actualidad, donde la mayor proporción de superficie afectada correspondió a plantaciones forestales desarrolladas en forma de monocultivos en grandes extensiones entre la región de O'Higgins y la región del BioBío, y que generaron entre otros problemas pérdida y erosión de suelos, efectos importantes en salud y economía rural, efectos sobre infraestructura social y pérdida de biodiversidad y ecosistemas nativos (de la Barrera et al., 2018, Bowman et al., 2019).
- g) Considerando 13 estudios a lo largo de Chile, la tasa de pérdida de bosques desde 1970 hasta 2010 fue de 19%, donde 186.404 ha de bosque nativo fueron sustituidas por usos agrícolas (Miranda et al., 2016). Este fenómeno de pérdida de bosques nativos ha sido intenso en la región Metropolitana y de Valparaíso entre los años 2000

y 2010, donde se perdieron 5.060 ha de bosques nativos para uso agrícola (Schulz et al., 2010). Sólo en el área de Quillota entre 1983 y 2001 se incrementó el área cultivada de 32% a 42% (Armesto et al., 2010).

- h) De acuerdo a estudios del estrés bioclimático por parte de las Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030, se ha identificado a las formaciones vegetacionales de bosque esclerófilo como especialmente vulnerables al cambio climático para el escenario 2050 (Ministerio de Medio Ambiente 2017), por lo cual la mantención de su área y estructura junto a la disminución de su degradación emergen como objetivos claves a cumplir para su resiliencia.

Respecto de la Captura de Carbono por Parte de Ecosistemas Nativos de Acacia Caven (Espino) y Pérdida por Establecimiento de Plantaciones Agrícolas

- 1) A nivel global, los ecosistemas naturales semiáridos han sido considerados clave en la captura neta de carbono anual (Ahlstrom et al., 2015). Se reconoce ampliamente que la sustitución de ecosistemas naturales por sistemas agrícolas impacta negativamente la biodiversidad y el almacenamiento de carbono (Chaplin-Kramer et al., 2015).
 - 2) Los ecosistemas de *Acacia caven* capturan entre 0,53 y 1,11 ton C /ha año (carbono por hectárea al año), contribuyendo activamente en la captura de dióxido de carbono (Meza et al. 2018). Además, estos ecosistemas tienen la capacidad de incrementar un 50% el C del suelo bajo su dosel en comparación con el suelo fuera de su cobertura, teniendo un positivo efecto en el incremento de la actividad biológica del suelo (Muñoz et al., 2007b). Por su parte ecosistemas de espinales más degradados (con menos de 25% de cobertura del suelo) pierden gran parte de su componente orgánico, especialmente de las fracciones de materia orgánica más reactivas (fracción liviana) que contribuyen al ciclaje de nutrientes; sin embargo, ecosistemas de espinales bien conservados (26-80% de cobertura del suelo) permiten un incremento considerable del C del suelo a largo plazo (Muñoz et al., 2007a, 2007b, 2008, Stolpe et al., 2008). Todas las anteriores son consideradas importantes razones para proteger y no intervenir este tipo de ecosistemas con labores agrícolas, como las que en se desarrollan con cultivos agrícolas intensivos en Chile y que se citan en el recurso de protección de la SNA a que este documento alude.
- a) Las formaciones dominadas por *A. caven* y otras especies del bosque esclerófilo de importancia como Peumo y Quillay, pueden almacenar hasta 2,73 ton C /ha año (Barriga 2012). Esta capacidad de almacenamiento de C también se ve afectada por el reemplazo de estas especies por cultivos de agricultura intensiva como las plantaciones de Paltos. Por su parte no se han encontrado estudios de este atributo en cultivos de Palto en Chile.
 - b) Los suelos del bosque esclerófilo también actúan como sumidero de metano CH₄, contribuyendo adicionalmente de esta manera a la reducción de gases invernadero, lo que realza su importancia global (Díaz et al., 2018).
 - c) Según la recopilación de estudios realizada por el Comité Científico COP25 (Marquet et al., 2019), los cambios de uso de suelo con fines agrícolas pueden aumentar la

capacidad de fijación de carbono en un 34% y llegar a disminuirla en 143% (pasando a ser fuentes netas o emisoras de carbono). En el caso del aumento de la tasa de fijación de carbono, debe considerarse que según el mismo informe este tipo de cambio de uso de suelo (bosque nativo a agrícola) implica la pérdida de entre 42% y 59% del carbono almacenado en el ecosistema original.

- d) Respecto a la respiración biológica y emisión de CO₂ desde el suelo, cualquier sistema agrícola acelera este proceso al hacer aplicaciones continuas de agua (Hernández-Montes et al., 2017). Sólo con prácticas de agricultura libre de intervención del suelo un sistema agrícola podría aumentar el potencial de captura de C respecto a un sistema agrícola convencional (Mangalassery et al., 2015), pero difícilmente logrará igualar al ecosistema natural y su capacidad de almacenar carbono con una alta tasa de residencia en el tiempo (Chenu et al., 2019).
- e) En general, el cambio de uso de suelo de un ecosistema nativo a uno de cultivo agrícola intensivo implica la pérdida de una cantidad importante del carbono almacenado en las plantas y el suelo. La intervención del suelo y la generación de camellones similares a los usados en plantaciones en laderas de cerro en cultivos de Palto, en un matorral semiárido en Chile, significa la pérdida de un 39% del carbono almacenado en el suelo (Perez-Quezada et al., 2011). Evidencia similar se encuentra en viñas en laderas en la localidad de Apalta, donde tras siete años de cambio de uso de suelo desde vegetación nativa con bosque esclerófilo, se perdió cerca de un 50% de carbono almacenado (Seguel et al., 2015).

Un ejemplo del reemplazo de vegetación nativa en laderas de cerros para habilitar cultivos agrícolas en la cuenca del Río Aconcagua, Región de Valparaíso, se puede ver en la figura 4.

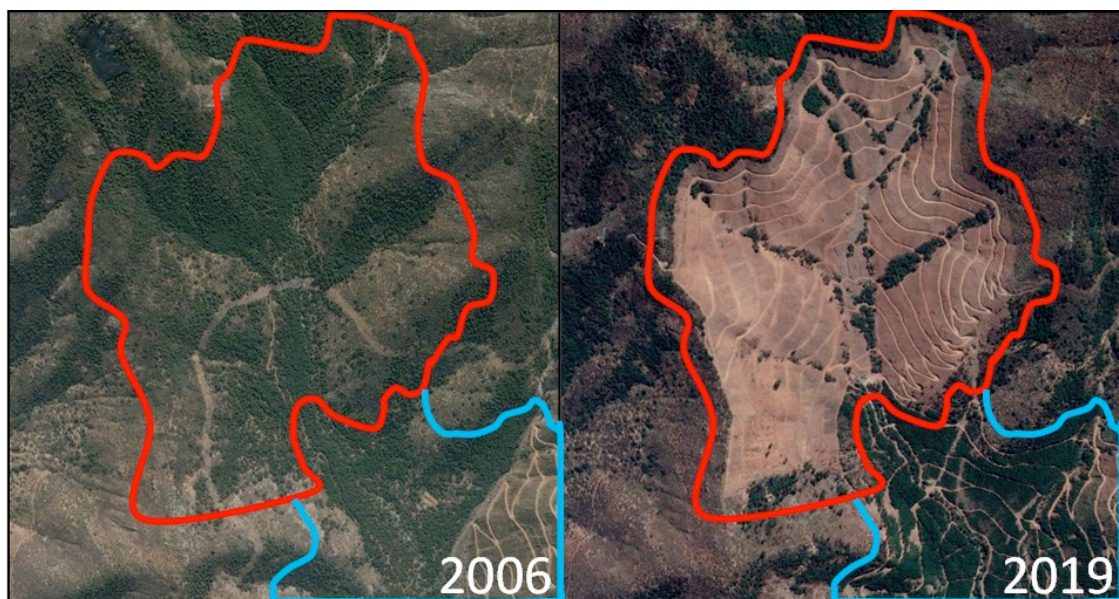


Figura 4. Imágenes satelitales mostrando severa eliminación y remoción de bosque nativo en una microcuenca hidrográfica en el Valle de Aconcagua para el establecimiento de plantaciones de paltos entre los años 2006 y 2019. Nótese una tala rasa más reciente (en rojo) y otras plantaciones de paltos previas (en celeste) luego de la correspondiente tala rasa de bosque nativo.

Aspectos Relevantes de Biodiversidad y Servicios Ambientales de los Ecosistemas de Acacia Caven

- 1) Las especies arbóreas de Chile central, incluyendo a espinales de *Acacia caven*, favorecen la riqueza de especies herbáceas nativas, la fertilidad del suelo y la disponibilidad de materia orgánica (Ovalle et al., 2006). Mientras más tiempo transcurra desde la última intervención agrícola, más aumenta la diversidad de herbáceas nativas, así como el hábitat y alimento de especies de aves, insectos y mamíferos.
- 2) La restauración y el manejo de los espinales de *Acacia caven* pueden mejorar la productividad de los ecosistemas y la fertilidad del suelo (Root-Bernstein y Jaksic, 2013). El manejo del ganado doméstico parece fundamental en las actividades de manejo de estos ecosistemas. Incentivos para restaurar estos ecosistemas son necesarios según los autores.
- 3) La degradación del paisaje de Chile central ha favorecido la cobertura tipo sabana dominada por *Acacia caven*, la cual constituye muchas veces los primeros estados sucesionales del bosque esclerófilo dependiendo de factores ambientales y del grado de intervención de los territorios (Van de Wouw et al. (2011). Se resalta la importancia de esta especie como pionera y facilitadora de la sucesión hacia estados de bosque mixto del tipo esclerófilo. La transformación del paisaje de espinales a bosque ocurre mayormente en condiciones alejadas de caminos, mayormente en exposición sur donde hay más humedad, y/o en zonas cerca de núcleos de bosque remanente. En general los cambios en la vegetación en Chile central se asocian a la topografía, cercanía de fuentes de propágulos (ej. semillas), regímenes de perturbaciones como incendios, ganado, cercanía a ciudades y caminos, pero también a la disponibilidad de recursos como agua.

Acerca del Impacto de los Cultivos de Palto (*Persea americana*) Sobre el Régimen Hídrico y la Disponibilidad de Agua

- 1) El estudio desarrollado por Meza et al. (2018) en ecosistemas de espinal (*Acacia caven*) de Chile central registró durante los años 2011-2012 una evapotranspiración (ET) de 128 y 139 mm, respectivamente. Cifras significativamente más bajas que las de evapotranspiración de cultivos de palto. Por su parte, 10 años de investigación en riego de palto desarrollada por investigadores del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), indica que la evapotranspiración de cultivos de palto puede llegar a cifras de 700 y 2000 mm/año en zonas bajas y de altas elevaciones, respectivamente, en la región de Valparaíso (Ferreira y Selles 2017 disponible en: <https://www.redagricola.com/cl/diez-anos-investigacion-manejo-del-riego-en-palto>) Similares resultados indica el estudio de Osorio (2013), el cual aborda la huella hídrica del palto en Chile. Estas cifras indican una demanda hídrica de entre 5 y 14 veces más por parte de plantaciones de palto versus ecosistemas nativos de espinal, cifras que cobran aún más relevancia bajo el actual escenario de severo déficit hídrico en Chile central.
- a) Al igual que la mayoría de los ecosistemas nativos dominados por especies arbóreas y arbustivas en Chile central, el comportamiento de los ecosistemas de *Acacia caven*

es altamente estacional, incrementando su productividad y captura de carbono en los meses de invierno con las precipitaciones (Meza et al. 2018). Por otro lado, los cultivos de palto (especie proveniente originalmente de climas más húmedos y menos estacionales) se desarrollan durante todo el año demandando altos volúmenes de agua incluso en invierno, como lo indican los estudios realizados por Ferreyra y Selles (2017) y el monitoreo que desarrollaron durante más de un año el Dr. Ariel Muñoz y el Dr. Sebastián Crespo, ambos profesores del Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

b) Acerca de los posibles efectos de la expansión de cultivo de paltos sobre la disponibilidad de agua en acuíferos de la V región, investigaciones en curso del Departamento de Geografía de la Universidad de Playa Ancha dirigidos por el Dr. Jean-Pierre Francois sugieren que, junto con la expansión de los cultivos de paltos en laderas, se observa una sostenida profundización del acuífero. En concreto, y luego de analizar espacial y temporalmente la expansión de cultivos de paltos en laderas en la cuenca del río Aconcagua durante los últimos 33 años (1986-2018) utilizando técnicas de teledetección, fue posible examinar la correlación entre la expansión de dicho cultivo y los niveles de agua reportados en pozos bajo la supervisión de la DGA (<http://snia.dga.cl>). Los resultados indican que la tasa de expansión de los cultivos de paltos en la cuenca del Aconcagua ha sido exponencial durante los últimos 33 años, lo que se expresa en valores de cobertura cercanas a 700 hectáreas en 1988, a un incremento de esta cobertura alcanzando más de 12.000 hectáreas en 2018 (Figura 5). Esta tendencia, se ve acompañada por una clara y sostenida profundización del acuífero durante el mismo periodo de tiempo (Figura 5), la cual se ve acrecentada durante los últimos diez años producto de la denominada “mega-sequía” por la que atraviesa el país debido a la importante disminución en las precipitaciones (Garreaud et al., 2017). Estos resultados dan cuenta del impacto de los cultivos de paltos y su expansión sobre la cuenca del Aconcagua sobre el recurso hídrico, situación que se hace más crítica al considerar que el incremento más importante en la superficie de estos cultivos (mayor a 5000 ha), ha ocurrido durante la mega-sequía de los últimos 10 años (Figura 5). Esta práctica claramente ha incrementado la huella hídrica del cultivo de paltos en estos territorios.

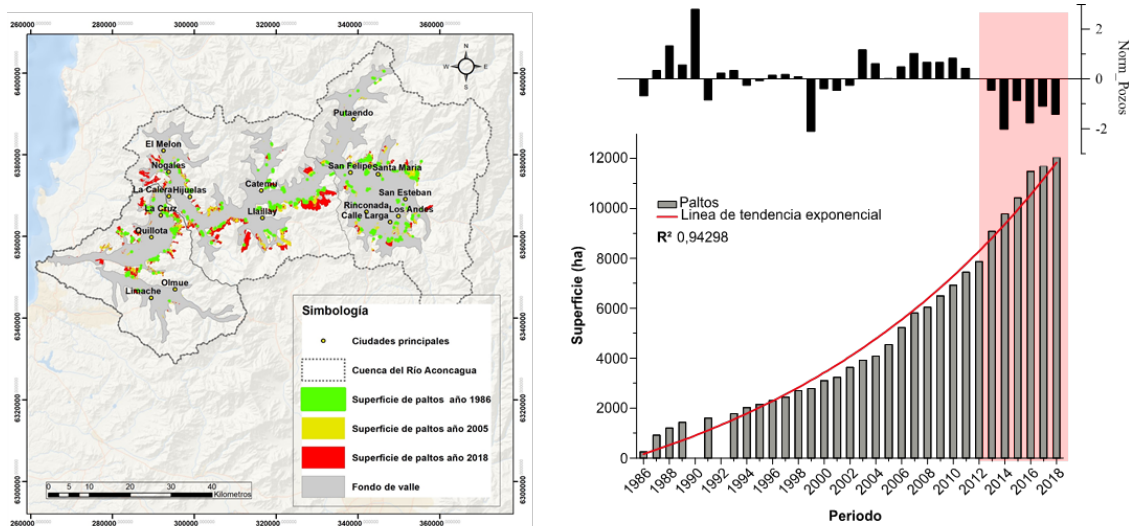


Figura 5. Izquierda. Cartografía resumen resaltando en colores las áreas ocupadas por cultivos de paltos en ladera para tres periodos de tiempo (1986, 2005, 2018) en la cuenca del río Aconcagua. Derecha. Gráfico ilustrando la evolución del área total ocupada por cultivos de palto en ladera entre 1986-2018 para la cuenca

del río Aconcagua estimada a través de imágenes satelitales, e índice normalizado de la variación registrada en los niveles de pozos para el mismo periodo. En rojo se demarca el periodo 2013-2018 en donde se registran simultáneamente un incremento del área de cultivos de palto y una disminución de los niveles de agua subterránea registrados en pozos de captación.

- c) En el contexto actual de mega-sequía, bajo el actual esquema de gestión de agua y producción intensiva de paltos se han generado graves problemas y conflictos de escasez hídrica en cuencas de la región de Valparaíso (Muñoz et al., 2020). En este contexto, el Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV) ha desarrollado investigaciones midiendo el consumo de agua de los cultivos de palto en la zona media de la cuenca del Aconcagua, utilizando equipos especiales para este fin. Tras un año de registro han calculado consumos de más de 100 litros de agua al día por árbol adulto. Otros estudios en la cuenca del río Petorca indican que el requerimiento de estos cultivos durante la temporada estival en plantaciones de paltos en laderas puede ser incluso mayor, cercano a 180 litros de agua al día en los meses de mayor demanda hídrica (Castro & Espinosa 2008, Magrath & Sanz, 2020). Estos valores concuerdan con los rangos mayores de las estimaciones de la huella hídrica desarrolladas por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) en 2013, donde se indican valores medios cercanos a 500 litros de agua para producir un kilo de esta fruta, reportando incluso hasta 1000 litros de agua en algunas zonas para producir un kilo de este fruto (Osorio 2013). Las estimaciones de la huella hídrica desarrolladas por el *Water FootPrint* y reportada comparativamente por Osorio (2013) indican valores de consumo de agua mucho mayores para este cultivo en Chile. Recientes estudios en regiones aledañas a la región de Valparaíso también confirman la alta huella hídrica de los cultivos de palto y otros cultivos agrícolas extensivos en los valles de Chile central (Novoa et al., 2019).
- d) Aun cuando se cuenta con diversas estimaciones de consumo de agua de los cultivos de paltas en los distintos estudios antes mencionados, la expansión agrícola no tiene una evaluación del consumo de agua, aunque sus efectos ya se han visto en localidades como Petorca (Panez-Pinto et al., 2018, Muñoz et al., 2020) y la cuenca del Cachapoal (Novoa et al., 2019).
- e) Es importante destacar que se desconoce si existen fuentes de agua que sostengan el uso actual y proyectado por la grandes plantaciones sin llegar a vulnerar el-Derecho Humano del Acceso al Agua y Saneamiento (Resolución 64/292 de la Asamblea de las Naciones Unidas), además del agua necesaria que asegure el-funcionamiento de los ecosistemas en los distintos territorios.
- f) En la actualidad se discute el Proyecto de Ley de Cambio Climático, en donde la seguridad hídrica es un punto esencial. Es imposible garantizar la seguridad hídrica careciendo de planes integrados de manejo de cuencas, balances hídricos de detalle en las cuencas del país, y acuerdos de usuarios con el Estado para garantizar agua a los distintos usos y habitantes de los territorios. En la actualidad, el uso de agua para agricultura intensiva en la región de Valparaíso es responsable aproximadamente del 50% de la escasez hídrica en territorios como Petorca, siendo el cambio del clima y la sequía actual responsables de la otra mitad. Es decir, hay un 50% de la crisis actual de agua en zonas rurales que puede ser tratada a través de reconsiderar los usos que demandan este recurso y las necesidades de los distintos tipos de usuarios, donde las comunidades y los ecosistemas nativos de estos territorios deben ser considerados prioritarios (Muñoz et al., 2020).

El Impacto del Reemplazo de Vegetación Nativa por Plantaciones "Forestales" en la Disponibilidad de Agua en el Centro-Sur de Chile: Una Lección para Tener en Cuenta en Chile Central

- 1) Al comparar la disponibilidad de agua frente a una misma condición de precipitación en 25 cuencas de Chile centro-sur (desde región del Maule a Los Lagos), Alvarez-Garretón et al. (2019) reportaron que el reemplazo de bosque nativo por plantaciones forestales (*Pinus radiata* D. Don y *Eucalyptus* spp) estaría asociado a una disminución de la escorrentía anual de entre 4.4 - 7% por cada 10.000 hectáreas de reemplazo. En el mismo estudio, se analizó el efecto en disponibilidad de agua asociado a las 100.000 hectáreas de forestación comprometidas en la primera versión de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (<https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/Pages/All.aspx>). En dicho ejercicio, si 100.000 hectáreas de pastizales y matorrales se reemplazaran por monocultivo de especies exóticas, podríamos esperar, en promedio, un 45% de disminución en la disponibilidad hídrica de las cuencas de estudio de la zona centro-sur del país.
- 2) Por su parte, Martínez-Retureta et al. (2020) implementaron el modelo SWAT en la cuenca del río Andalién (región del Biobío), representando los procesos hidrológicos de la cuenca durante 30 años (1984-2013) y bajo 3 configuraciones de cobertura de suelo, correspondientes a los años 1986, 2001 y 2013. Los resultados de este estudio muestran que el aumento de plantaciones forestales dentro de la cuenca (la cobertura aumentó de un 35.22% a un 63.93% del área de la cuenca en el período de estudio). Estos cambios se encuentran asociados a una mayor evapotranspiración y flujo superficial, y una disminución en la percolación (recarga de acuíferos), lo que resultó en una disminución de la disponibilidad total de agua.

Historia Reciente de la Expansión Agrícola en Laderas de Cerros y su Impacto Socio-Ambiental

A partir de 1985 la producción frutícola del valle central del país comenzó a incrementarse, exhibiendo importantes aumentos de rentabilidad económica y adquiriendo un rol protagónico en el modelo agroexportador chileno. De este modo, en el año 1997 la participación relativa frutícola aumentó al 81,2% de las exportaciones agrarias (Ríos-Núñez, 2013). Desde el periodo señalado, la zona central del país se ha caracterizado por el desarrollo de plantaciones de paltos y viñas en laderas de cerros como en piedemontes (Ruiz, 2005). A comienzos de la década de los 90' se incrementaron las excavaciones de pozos y bombas aumentando el riego tecnificado en los valles agrícolas, gracias principalmente a las bonificaciones incorporadas en la ley de fomento de inversión privada en obras de riego y drenaje. El riego tecnificado poseía características relevantes en comparación con el riego tradicional, entre las que se destacaron, el transporte de agua lejos de la fuente, la irrigación colina arriba y la poca pérdida de agua. Sumado a ello, los suelos en laderas se caracterizaron por dos grandes ventajas a diferencia de las tierras ubicadas en el fondo del valle. En primer lugar, estas tierras concentraban una temperatura ligeramente más alta, lo que fue un factor óptimo para los paltos y, en segundo lugar, estos suelos presentaban un valor en el mercado más bajo que aquellas tierras irrigadas del valle (Budde, 2012). El principal problema social, que

acarrea este cambio agrario hacia un modelo agroexportador, además de los graves problemas de acceso al agua asociados (Panez-Pinto et al., 2018, Muñoz et al., 2020), es la extensiva precariedad laboral. Las evidencias indican que este modelo productivo genera una polarización productiva a nivel territorial, lo que deriva en desigualdad social debido a diferencias en la distribución del ingreso y las remuneraciones de la población (Canales et al. 2016). En gran parte los empleos que se entregan son temporales, por lo que no entregan seguridad social, dependen directamente de la mano de obra migrante y estacional, comúnmente feminizada. Estos son otros importantes factores para considerar al referirse a los beneficios socioeconómicos que esta forma de uso del suelo entregaría. En este sentido la sustentabilidad social declarada por algunos empresarios del agro debe ser revisada y evaluada con parámetros sociales, ambientales y económicos validados territorialmente y en sintonía con los derechos humanos y los objetivos de desarrollo sostenible que declara Naciones Unidas para este siglo. Este impacto social y ambiental (discutido más arriba como pérdida de biodiversidad y almacenamiento de carbono) de la producción agrícola en laderas y particularmente paltas, fue recientemente destacado en las conclusiones del trabajo de Magrach y Sanz (2020) analizando el impacto de los llamados “superalimentos” sobre el medioambiente. La actividad agrícola tiene que considerar hoy en día los diversos aspectos de la transición hacia la sustentabilidad, tanto para el abastecimiento de los mercados internacionales como para la cautela de la salud y calidad de vida de la población de las comunas en que se desarrolla. Ello es especialmente relevante en espacios que han sido reconocidos como “Reserva de la Biosfera”, como es el caso de parte importante de las comunas de La Cruz, Hijuelas y Llay-Llay, pertenecientes a la Reserva de la Biosfera La Campana-Peñuelas, en las cuales el cultivo en laderas se ha expandido de una forma descontrolada. Los instrumentos de planificación territorial vigentes han sido débiles en controlar esta situación, lo cual debe ser revertido a la brevedad (Carvajal-Mascaro et al. 2019).

Finalmente, queremos clarificar que la tendencia global actual en la producción agrícola apunta hacia la producción sostenible, bajo el paradigma de la intensificación ecológica (Bomarco et al., 2013; Kleijn et al., 2019; Lal 2019), es decir, aprovechando los beneficios ambientales de ecosistemas naturales, como resultado del funcionamiento de la biodiversidad para generar una mejor producción, eso significa no reemplazar ecosistemas naturales. Existe vasta evidencia de incrementos productivos en cultivos agrícolas, como consecuencia de la conservación de áreas naturales (ejemplos en Garibaldi et al., 2013; Dainese et al., 2019). En este contexto, recientes investigaciones en viñedos de Chile central han documentado que microorganismos del suelo de bosques nativos, que cumplen roles ecológicos claves en el ciclaje de nutrientes, son traspasado al suelo del viñedo, generando una interacción con la planta que da origen a un *terroir* clave para la producción de vinos (Miura et al., 2017, 2019). Esto ha llevado a que importantes empresas vitivinícolas en Chile, hoy conserven activamente, las laderas con vegetación xerofítica y esclerófila nativa (Márquez-García et al., 2019). Así mismo, para cultivos de palto, investigadores de la Escuela de Agronomía de la PUCV como del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA-La Cruz, han registrado que los insectos silvestres, tienen un importante rol como visitantes florales para la polinización de dicho cultivo (Monzón et al 2020). Estos ejemplos son parte de una nueva visión de la producción agrícola en Chile, en la cual convergen la conservación de los ecosistemas naturales con una producción sostenible.

Conclusiones

- Los ecosistemas nativos de bosques esclerófilos y *Acacia caven*, y matorrales xerófilos de Chile central albergan especies endémicas que son fundamentales para la conservación de la biodiversidad global constituyendo *hotspot*.
- Los bosques de *Acacia caven* albergan al menos 50 especies vegetales consideradas por el Ministerio de Medio Ambiente en alguna categoría de amenaza de conservación, y poseen valor ecosistémico y para la mantención de la biodiversidad del país.
- La protección de los bosques de *Acacia caven* y matorrales xerófitos de Chile central aportan servicios ambientales relevantes para la mantención de la calidad de vida de una parte importante de la población, lo cual ha sido reconocido para el caso de la Región de Valparaíso a través de la declaración como Reserva de la Biosfera principalmente en las provincias de San Felipe, Quillota y Marga-Marga.
- Las zonas de bosque nativo presentan significativamente una mayor biodiversidad que cultivos agrícolas en Chile central, y los espinales constituyen hábitat clave para especies de insectos, aves y mamíferos endémicos de Chile.
- Los ecosistemas de *Acacia caven* constituyen estadios iniciales para el desarrollo del bosque esclerófilo, dependiendo de las condiciones ambientales. Estos espinales facilitan el ingreso de otras especies nativas, favoreciendo la sucesión forestal y los procesos ecológicos a distintas escalas.
- Los ecosistemas de *Acacia caven* actúan como sumideros de carbono y presentan bajos requerimientos hídricos resguardando la calidad y cantidad de las aguas sub-superficiales. Además, estos ecosistemas favorecen la fijación de nitrógeno atmosférico en el suelo, mejorando su fertilidad.
- Existe evidencia científica que indica que los cultivos de Palto requieren de grandes volúmenes de agua para su desarrollo, lo cual es el opuesto a los ecosistemas de bosques de *Acacia caven* y esclerófilos que poseen bajas tasas de evapotranspiración. Estos grandes requerimientos hídricos de este cultivo son una de las principales causas de conflictos por agua en la región de Valparaíso.
- Existe evidencia científica que indica que hay mayor y significativa cantidad de erosión y pérdida de suelo en cultivos de Palto que en condiciones de bosque nativo.
- Los ecosistemas de bosques de *Acacia caven* y esclerófilo se encuentran actualmente amenazados y altamente degradados e intervenidos en Chile central, por lo que más que cortarlos y eliminarlos se deben emprender acciones de restauración con el fin de recuperar y aumentar los bienes y servicios ecosistémicos que brindan.
- Necesitamos con urgencia una nueva forma de hacer agricultura en Chile con menos externalidades ambientales y más desarrollo socio-ambiental que

contribuya al desarrollo sostenible de nuestro país y a nuestra adaptación y mitigación al cambio climático y sus efectos sobre la disponibilidad de agua.

- De acuerdo a la legislación chilena, los Planes de Manejo de Bosque Nativo son un instrumento mediante el cual se planifica la gestión del patrimonio ecológico y el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales de nuestro país, resguardando la calidad de las aguas y evitando el deterioro de los suelos. A la luz del conocimiento y evidencia científica actual, se demuestra que lo anterior no ha sido logrado mediante los Planes de Manejo que han sido aprobados para talar y eliminar ecosistemas de bosque nativo con el fin de reemplazarlos por plantaciones agrícolas de frutales, sino justamente han actuado y tenido efectos totalmente opuestos al espíritu que señala nuestra legislación.
- Los/as académicos/as aquí firmantes indican que existe una abrumadora cantidad de evidencia científica y técnica para apoyar el Dictamen N°6.271/2020 de la Contraloría General de la República, el cual indica que “resulta incompatible autorizar un plan de manejo de corta de bosque nativo para recuperación de terrenos con fines agrícolas, por cuanto dicho permiso no cumpliría con el objeto de proteger, recuperar y mejorar el bosque nativo para asegurar la sustentabilidad forestal y la política ambiental”.

Referencias

- Ahlström, A., Raupach, M.R., Schurgers, G., Smith, B., Arneeth, A., Jung, M., Reichstein, M., Canadell, J.G., Friedlingstein, P., Jain, A.K., Kato, E., Poulter, B., Sitch, S., Stocker, B.D., Viovy, N., Wang, Y.P., Wiltshire, A., Zaehle, S., Zeng, N. (2015). The dominant role of semi-arid ecosystems in the trend and variability of the land CO₂ sink. *Science* 348(6237), 895-899.
<https://doi.org/10.1126/science.aaa1668>
- Alaniz, A. J., Galleguillos, M., Perez-Quezada, J.F. (2016). Assessment of quality of input data used to classify ecosystems according to the IUCN Red List methodology: The case of the central Chile hotspot. *Biological Conservation* 204, 378-385.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.038>
- Alvarez-Garreton, C.; Lara, A.; Boisier, J.P.; Galleguillos, M. (2019). The impacts of native forests and forest plantations on water supply in Chile. *Forests*, 10(6), 473.
<https://doi.org/10.3390/f10060473>
- Anderegg, W.R.L., Konings, A.G., Trugman, A.T., Yu, K., Bowling, D.R., Gabbitas, R., Karp, D.S., Pacala, S., Sperry, J.S., Sulman, B.N., Zenes, N. (2018). Hydraulic diversity of forests regulates ecosystem resilience during drought. *Nature*
<https://doi.org/10.1038/s41586-018-0539-7>
- Armesto, J.J., Manuschevich, D., Mora, A., Smith-Ramirez, C., Rozzi, R., Abarzúa, A.M., Marquet, P.A., (2010). From the Holocene to the Anthropocene: A historical framework for land cover change in southwestern South America in the past 15,000 years. *Land Use Policy* 27, 148–160.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.07.006>
- Atucha, A., Merwin, I. A., Brown, M. G., Gardiazabal, F., Mena, F., Adriazola, C., Lehmann, J. (2013). Soil erosion, runoff and nutrient losses in an avocado (*Persea americana* Mill) hillside orchard under different groundcover management systems. *Plant and Soil* 368(1–2), 393–406.
<https://doi.org/10.1007/s11104-012-1520-0>
- Bannister, J.R., Vidal, O.J., Teneb E., Sandoval, V. (2012). Latitudinal patterns and regionalization of plant diversity along a 4270-km gradient in continental Chile. *Austral Ecology* 37, 500–509.
<https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2011.02312.x>
- Barriga, C. (2012). Acumulación y secuestro de carbono en bosques esclerófilos de la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha: Implicancias para su conservación. Memoria de Magíster en Áreas silvestres y Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. Santiago, Chile. 38p.
<http://mascn.forestaluchile.cl/wp-content/uploads/2012/06/Proyecto-Carla-Barriga.pdf>
- Blanco-Canqui, H., Shaver, T., Lindquist, J., Shapiro, C.A., Eimore, R.W., Francis, C.A., Hergert, G.W. (2015). Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. *Agronomy Journal* 107, 2449-2474.
<https://doi.org/10.2134/agronj15.0086>
- Bland, L.M., Rowland, J.A., Regan, T.J., Keith, D.A., Murray, N.J., Lester, R.E., Linn, M., Rodríguez, J.P., Nicholson, E. (2018). Developing a standardized definition of ecosystem collapse for risk assessment. *Frontiers in Ecology and Environment* 16 (1): 29-36.
- Bommarco, R., Kleijn, D., Potts, S.G. (2013). Ecological intensification: Harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology and Evolution* 28(4), 230-238.

<https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012>

Bowman, D., Moreira-Muñoz, A., Kolden, C., Chávez, R., Muñoz, A., Salinas, F., González, A., Rocco, R., de la Barrera, F., Williamson, G., Borchers, N., Cifuentes, L., Abatzoglou, J., Johnston, F. (2019) Human–environmental drivers and impacts of the globally extreme 2017 Chilean fires. *Ambio* 48, 350–362.

<https://doi.org/10.1007/s13280-018-1084-1>

Braun, A.C., Troeger, D., Garcia, R., Aguayo, M., Barra, R., Vogt, J., (2017). Assessing the impact of plantation forestry on plant biodiversity: A comparison of sites in Central Chile and Chilean Patagonia. *Global Ecology and Conservation* 10, 159-172.

<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.03.006>

Brooks, T.M., Mittermeier, R.A., da Fonseca, G.A.B., Gerlach, J., Hoffmann, M., Lamoreux, J.F., Mittermeier, C.G., Pilgrim, J.D., Rodrigues, A.S.L. (2006). Global Biodiversity Conservation Priorities. *Science*. 313, 58-61.

<https://doi.org/10.1126/science.1127609>

Budds, J. (2012). La demanda, evaluación y asignación del agua en el contexto de escasez: un análisis del ciclo hidrosocial del valle del río La Ligua, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande* 52, 167-184.

<http://doi.org/10.4067/S0718-34022012000200010>

Canales, A., Canales-Cerón, M. (2016). Población y territorio en el modelo económico chileno. El caso de la comarca del Aconcagua. *Papeles de población*, 22(88), 9-46.

Carvajal-Mascaro, F., Moreira-Muñoz, A., Salazar Burrows, A., Leguía, M., Jorquera, F. (2019). Divergencias y contradicciones en la planificación sustentable del periurbano rural metropolitano de Valparaíso. Caso Reserva de la Biosfera La Campana-Peñuelas, Chile central. *Revista Urbano* (Concepción) 39: 64 – 87.

<https://doi.org/10.22320/07183607.2019.22.39.04>

Casanova, M., Salazar, O., Seguel, O., Luzio, W. (2013). The soils of Chile. World Soils Book Series. Hartemink, A. (Ed.). Springer. Madison, USA. 185p.

<https://doi.org/10.1007/978-94-007-5949-7>

Castro Rios, R., Espinosa Toro, M. (2008). Evaluación ambiental de plantaciones de paltos en laderas cuenca del Río Petorca, region de Valparaiso, Chile. Trabajo de titulación, Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental, Mención Auditoría ISO 14001. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España. 170p.

Chaplin-Kramer, R., Sharp, R. P., Mandle, L., Sim, S., Johnson, J., Butnar, I., Milà I Canals, L., Eichelberger, B.A., Ramler, I., Mueller, C., McLachlan, N., Yousefi, A., King, H., Kareiva, P.M. (2015). Spatial patterns of agricultural expansion determine impacts on biodiversity and carbon storage. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112(24), 7402–7407.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1406485112>

Chazdon, R.L., Brancalion, P.H., Laestadius, L., Bennett-Curry, A., Buckingham, K., Kumar, C., Moll-Rocek, J., Guimarães Vieira, I.C., Wilson, S.J. (2016). When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. *Ambio* 45(5), 538-550.

<https://doi.org/10.1007/s13280-016-0772-y>

Cardinale, B.J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G.M., Tilman, D., Wardle, D.A., Kinzig, A.P., Daily, G.C., Loreau, M., Grace, J.B.,

Larigauderie, A., Srivastava, D.S., Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486(7401), 59–67.
<https://doi.org/10.1038/nature11148>.

Chenu, C., Angers, D.A., Barréc, P., Derrien, D., Arrouays, D., Balesdent, J. (2019). Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil & Tillage Research* 188, 41–52.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2018.04.011>.

Cifuentes-Croquevielle, C., Stanton, D.E., Armesto, J.J. (2020). Soil invertebrate diversity loss and functional changes in temperate forest soils replaced by exotic pine plantations. *Scientific Reports* 10, 7762.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-64453-y>

CIREN (2010). Determinación de erosión potencial y actual de Chile. Informe técnico final. Centro de Información de Recursos Naturales. Santiago, Chile. 145p.
http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/12021/06CN12IAM-12_IF.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Comerford, N., Franzluebbers, A.J., Stromberger, M.E., Morris, L., Markewitz, D., Moore, R. (2013). Assessment and Evaluation of Soil Ecosystem Services. *Soil Horizons, Soil Science Society of America*.54, 1–14.[1]
<https://doi.org/10.2136/sh12-10-0028>

Cuevas, J.G., Silva, S.I., León-Lobos, P., Ginocchio, R. (2013). Nurse effect and herbivory exclusion facilitate plant colonization in abandoned mine tailings storage facilities in north-central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 86(1), 63–74.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2013000100006>

Dainese, M., Martin, E.A., Aizen, M.A., Albrecht, M., Baromeus, I., Bommarco, R., Carvalheiro, L.G., Chaplin-Kramer, R., Gagic, V., Garibaldi, L.A., Ghazoul, J., Grab, H., Jonsson, M., Karp, D.S., Kennedy, C.M., Kleijin, D., Kremen, C., Landis, D.A., Letourneau, D.K., Marini, L., Poveda, K., Rader, R., Smith, H.G., Tschamtker, T., Andersson, G.K.S., Badenhäusser, I., Baensch, S., Bezerra, A.D.M., Bianchi, F.J.J.A., Boreux, V., Bretagnolle, V., Caballero-Lopez, B., Cavigliasso, P., Četković, A., Chacoff, N.P., Classen, A., Cusser, S., da Silva e Silva, F.D., Arjen de Groot, G., Dudenhöffer, J.H., Ekroos, J., Fijen, T., Franck, P., Freitas, B.M., Garratt, M.P.D., Gratton, C., Hipólito, J., Holzschuh, A., Hunt, L., Iverson, A.L., Jha, S., Keasar, T., Kim, T.N., Kishinevsky, M., Klatt, B.K., Klein, A., Krewenka, K.M., Krishnan, S., Larsen, A.E., Lavigne, C., Liere, H., Maas, B., Mallinger, R.E., Pachon, E.M., Martínez-Salinas, A., Meehan, T.D., Mitchell, M.G.E., Molina, G.A.R., Nesper, M., Nilsson, L., O'Rourke, M.E., Peters, M.K., Plečaš, M., Potts, S.G., Ramos, D.L., Rosenheim, J.A., Rundlöf, M., Rusch, A., Sáez, A., Scheper, J., Schleuning, M., Schmack, J.M., Sciligo, A.R., Seymour, C., Stanley, D.A., Stewart, R., Stout, J.C., Sutter, L., Takada, M.B., Taki, H., Tamburini, G., Tschumi, M., Viana, B.F., Westphal, C., Willcox, B.K., Wratten, S.D., Yoshioka, A., Zaragoza-Trello, C., Zhang, W., Zou, Y., Steffan-Dewenter, I. (2019). A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science Advances* 5(10), 1–13.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0121>

de la Barrera, F., Barraza, F., Favier, P., Ruiz, V., Quense, J. (2018). Megafires in Chile 2017: Monitoring multiscale environmental impacts of burned ecosystems. *Science of The Total Environment* 637–638, 1526–1536.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.119>

Díaz, M. A., Bown, H. E., Fuentes, J. P., & Martínez, A. M. (2018). Soils act as sinks or sources of CH₄ depending on air-filled porosity in sclerophyllous ecosystems in semiarid central Chile. *Applied Soil Ecology* 130, 13-20.

<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.05.017>

Eldridge, D.J., Bowker, M.A., Maestre, F.T., Roger, E., Reynolds, J.F., Whitford, W.G. (2011). Impacts of shrub encroachment on ecosystem structure and functioning towards a global synthesis. *Ecology letters* 14, 709–722.

<https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01630.x>

Ferreira R., Selles, G., INIA (2017). Diez años de investigación en manejo del riego en palto. Disponible en

<https://www.redagricola.com/cl/diez-anos-investigacion-manejo-del-riego-en-palto/>

Fu, B., Zhang, L., Xu, Z., Zhao, Y., Wei, Y., Skinner, D. (2015). Ecosystem services in changing land use. *Journal of Soils and Sediments* 15, 833–843.

<https://doi.org/10.1007/s11368-015-1082-x>

Fuentes, E.R., Hoffmann, A.J., Poiani, A., Alliende, M.C. (1986). Vegetation change in large clearings: patterns in the Chilean matorral. *Oecologia* 68(3), 358-366.

<https://doi.org/10.1007/BF01036739>

Garibaldi, L.A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M.A., Bommarco, R., Cunningham, S.A., Kremen, C., Carvalheiro, L.G., Harder, L.D., Afik, O., Bartomeus, I., Benjamin, F., Boreux, V., Cariveau, D., Chacoff, N.P., Dudenhöffer, J.H., Freitas, B.M., Ghazoul, J., Greenleaf, S., Hipólito, J., Holzschuh, A., Howlett, B., Isaacs, R., Javorek, S.K., Kennedy, C.M., Krewenka, K.M., Krishnan, S., Mandelik, Y., Mayfield, M.M., Motzke, I., Munyuli, T., Nault, B.A., Otieno, M., Petersen, J., Pisanty, G., Potts, S.G., Rader, R., Ricketts, T.H., Rundlöf, M., Seymour, C.L., Schüepp, C., Szentgyörgy, H., Taki, H., Tschardtke, T., Vergara, C.H., Viana, B.F., Wanger, T.C., Westphal, C., Williams, N., Klein, A.M. (2013). Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bee Abundance. *Science* 339(6127), 1608–1611.

<https://doi.org/10.1126/science.1230200>

Garreaud, R.D., Alvarez-Garretón, C., Barichivich, J., Boisier, J.P., Christie, D., Galleguillos, M., LeQuesne, C., McPhee, J., Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010–2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences* 21, 6307–6327.

<https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017>

Hernández-Montes, E., Escalona, J.M., Tomás, M., Medrano, H. (2017). Influence of water availability and grapevine phenological stage on the spatial variation in soil respiration. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 23(2), 273-279.

<https://doi.org/10.1111/ajgw.12279>

Jones, P., Jones C., Barbier E., Blackburn, R., Rey Benayas, J., Holl, K.D., McCrackin, M., Meli, P., Montoya, D., Mateos, D. (2018). Restoration and repair of Earth's damaged ecosystems. *Proceedings of The Royal Society B* 285, 20172577

<https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2577>

Kehoe, L., Romero-Muñoz, A., Polaina, E., Estes, L., Kreft, H., & Kuemmerle, T. (2017). Biodiversity at risk under future cropland expansion and intensification. *Nature Ecology and Evolution* 1(8), 1129–1135.

<https://doi.org/10.1038/s41559-017-0234-3>

Kleijn, D., Bommarco, R., Fijen, T.P.M., Garibaldi, L.A., Potts, S.G., van der Putten, W. H. (2019). Ecological Intensification: Bridging the Gap between Science and Practice. *Trends in Ecology and Evolution* 34(2), 154–166.

<https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.11.002>

Lambin, E. F., Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108 (9) 3465-3472.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108>

Lal, R. (2019). Eco-intensification through soil carbon sequestration: Harnessing ecosystem services and advancing sustainable development goals. *Journal of Soil and Water Conservation* 74(3), 55A-61A.

<https://doi.org/10.2489/jswc.74.3.55A>

Luebert, F., Plissock, P. (2017). Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile, Segunda Edición. Editorial Universitaria.

Maestre, F.T., Bowker, M.A., Puche, M.D., Hinojosa, M.B., Martínez, I., García-Palacios, P., Castillo A.P., Soliveres, S., Luzuriaga, A.L., Sánchez, A.M., Carreira, J.A., Gallardo, A., Escudero, A. (2009). Shrub encroachment can reverse desertification in semi-arid Mediterranean grasslands. *Ecology letters* 12(9), 930-941.

<https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01352.x>

Maestre, F.T., Quero, J.L., Gotelli, N.J., Escudero, A., Ochoa, V., Delgado-Baquerizo, M., García-Gómez, M., Bowker, M.A., Soliveres, S., Escolar, C., García-Palacios, P., Berdugo, M., Valencia, E., et al. (2012). Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands. *Science* 335(6065), 214-218.

<https://doi.org/10.1126/science.1215442>

Magrath, A., Sanz, M.J. (2020). Environmental and social consequences of the increase in the demand for ‘superfoods’ world-wide. *People and Nature* 2(2), 267–278.

<https://doi.org/10.1002/pan3.10085>

Mangalassery, S., Sjögersten, S., Sparkes, D.L., Mooney, S.J. (2015). Examining the potential for climate change mitigation from zero tillage. *Journal of Agricultural Science* 1: 1-23.

<https://doi.org/10.1017/S0021859614001002>

Marquet, P. A., Lara, A., Altamirano, A., Alaniz, A., Álvarez, C., Castillo, M., Galleguillos, M., Grez, A., Gutiérrez, Á., Hoyos Santillán, J., Manuschevich, D., Garay, R.M., Miranda, A., Ostria, E., Peña Cortéz, F., Pérez Quezada, J., Sepúlveda, A., Simonetti, J., Smith, C. (2019). Cambio de uso del suelo en Chile: Oportunidades de mitigación ante la emergencia climática. En P. A. Marquet et al. (editores), Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones. Informe de la mesa de Biodiversidad. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

[10.13140/RG.2.2.26579.73764](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26579.73764)

Márquez-García, M., Jacobson, S.K., Barbosa, O. (2019). Wine with a Bouquet of Biodiversity: Assessing Agricultural Adoption of Conservation Practices in Chile. *Environmental Conservation*, 46(1), 34–42.

<https://doi.org/10.1017/S0376892918000206>

Martínez-Retureta, R.; Aguayo, M.; Stehr, A.; Sauvage, S.; Echeverría, C.; Sánchez-Pérez, J.M. (2020) Effect of Land Use/Cover Change on the Hydrological Response of a Southern Center Basin of Chile. *Water*, 12, 302.

<https://doi.org/10.3390/w12010302>

Meza, F.J., Montes, C., Bravo-Martínez, F., Serrano-Ortiz, P., Kowalski, A.S. (2018). Soil water content effects on net ecosystem CO₂ exchange and actual evapotranspiration in a Mediterranean semiarid savanna of Central Chile. *Sci Rep* 8, 8570.

<https://doi.org/10.1038/s41598-018-26934-z>

Ministerio del Medio Ambiente (2017). Estrategia Nacional de Biodiversidad: 2017–2030. Gobierno de Chile.

Miranda, A., Altamirano, A., Cayuela, L., Lara, A., & González, M. (2017). Native forest loss in the Chilean biodiversity hotspot: revealing the evidence. *Regional Environmental Change* 17(1), 285-297.

<https://doi.org/10.1007/s10113-016-1010-7>

Miura, T., Sánchez, R., Castañeda, L.E., Godoy, K., Barbosa, O. (2017). Is microbial terroir related to geographic distance between vineyards?. *Environmental Microbiology Reports* 9(6), 742–749.

<https://doi.org/10.1111/1758-2229.12589>

Miura, T., Sánchez, R., Castañeda, L.E., Godoy, K., Barbosa, O. (2019). Shared and unique features of bacterial communities in native forest and vineyard phyllosphere. *Ecology and Evolution* 9(6), 3295–3305.

<https://doi.org/10.1002/ece3.4949>

Monzón, V. H., Avendaño-Soto, P., Araujo, R. O., Garrido, R., & Mesquita-Neto, J. N. (2020). Avocado crops as a floral resource for native bees of Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 93(1), 1-7.

<https://doi.org/10.1186/s40693-020-00092-x>

Moreira-Muñoz, A. (2014). Central Chile Ecoregion. In: Hobohm, C. (ed.), *Endemism in Vascular Plants*: 221– 233. Dordrecht.

Moreira-Muñoz, A., Carvajal-Mascaro, F., Elórtegui, S., Rozzi, R. (2019). The Chilean biosphere reserves network as a model for sustainability? En: MG. Reed, MF. Price (eds) *UNESCO Biosphere Reserves Supporting Biocultural Diversity, Sustainability and Society*. Routledge, 61-75.

Moya, D., Herreros, J., Ferreyra, J. (2014). Representatividad actual de los pisos vegetacionales en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas y de sitios prioritarios para la conservación en Chile. *Documento de Trabajo. Proyecto MMA / GEF-PNUD Creación de un Sistema Nacional de Áreas Protegidas para Chile: Estructura Financiera y Operacional*. Santiago de Chile, 55p.

Muñoz, C., Ovalle, C., Zagal, E. (2007a). Distribution of soil organic carbon stock in an Alfisol profile in Mediterranean Chilean ecosystems. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 7 (1) 15-27.

Muñoz, C., Zagal, E., Ovalle, C. (2007b). Influence of trees on soil organic matter in Mediterranean agroforestry systems: an example from the ‘Espinal’ of central Chile. *European Journal of Soil Science* 58 (3) 728-735.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00858.x>

Muñoz, C., Monreal, C.M., Schnitzer, M., Zagal, E. (2008). Influence of *Acacia caven* (Mol) coverage on carbon distribution and its chemical composition in soil organic carbon fractions in a Mediterranean-type climate region. *Geoderma* 144 (1-2), 352-360.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.12.002>

Muñoz-Pedrerros, A. (ed.), Yañez, J. (ed.) (2009). *Mamíferos de Chile, 2da edición*. Temuco, Chile. CEA Ediciones. 573p.

Muñoz, A. A., Klock-Barría, K., Alvarez-Garreton, C., Aguilera-Betti, I., González-Reyes, Á., Lastra, J. A., Chavez, R.O., Barría, P., Christie, D.A., Rojas-Badilla, M., LeQuesne, C. (2020). Water Crisis in Petorca Basin, Chile: The Combined Effects of a Mega-Drought and Water Management. *Water* 12(3), 648.

<https://doi.org/10.3390/w12030648>

Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C., da Fonseca, G.A.B., Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 403, 853–858.

<https://doi.org/10.1038/35002501>

Novoa, V., Ahumada-Rudolph, R., Rojas, O., Sáez, K., de la Barrera, F., Arumí, J. L. (2019). Understanding agricultural water footprint variability to improve water management in Chile. *Science of the Total Environment*. 670, 188-199.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.127>

Olivares, A. E. (2016). *El espinal: manejo silvopastoril de un recurso ignorado*. Editorial Universitaria. 167p.

Oliver, T.H., Heard, M.S., Isaac, N.J.B., Roy, D.B., Procter, D., Eigenbrod, F., Freckleton, R., Hector, A., Orme, C.D.L., Petchey, O.L., Proença, V., Raffaelli, D., Suttle, K.B., Mace, G.M., Martín-López, B., Woodcock, B.A., Bullock, J.M. (2015) Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends in Ecology & Evolution* 30 (11), 673--684.

<https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.08.009>

Organización de las Naciones Unidas (1992). *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Publicación de las Naciones Unidas emitida en “La Cumbre de la Tierra, Río de Janeiro, Brazil. Disponible en:

<https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>

Organización de las Naciones Unidas (2019) *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Publicación de las Naciones Unidas emitida por el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales (DESA), e-ISSN: 2521-6902, Nueva York, EE.UU.

Osorio U., Alfonso (ed). 2013. *Determinación de la huella del agua y estrategias de manejo de recursos hídricos*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile. Serie Actas N° 50, 211p.

Ovalle, C., Del Pozo, A., Casado, M.A., Acosta, B., de Miguel, J.M. (2006). Consequences of landscape heterogeneity on grassland diversity and productivity in the Espinal agroforestry system of central Chile. *Landscape Ecology* 21(4), 585-594.

<https://doi.org/10.1007/s10980-005-3498-y>

Panez-Pinto, A., Mansilla-Quiñones, P., Moreira-Muñoz, A. (2018). Agua, tierra y fractura sociometabólica del agronegocio. Actividad frutícola en Petorca, Chile. *Revista Bitácora Urbano Territorial* 28(3), 153-160.

<http://dx.doi.org/10.15446/bitacora.v28n3.72210>

Panez, A., Roose, I., Faúndez, R. (2020). Agribusiness Facing Its Limits: The Re-Design of Neoliberalization Strategies in the Exporting Agriculture Sector in Chile. *Land*, 9(3), 66.

<https://doi.org/10.3390/land9030066>

- Perez-Quezada, J.F., Delpiano, C.A., Franck, N., Snyder, K.A., Johnson, D.A. (2011). Carbon pools in an arid shrubland in Chile under natural and afforested conditions. *Journal of Arid Environments* 75, 29-37
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.08.003>
- Plissock, P., Fuentes-Castillo, T. (2011). Representativeness of terrestrial ecosystems in Chile's protected area system. *Environmental Conservation* 38, 303-311.
<https://doi.org/10.1017/S0376892911000208>
- Plissock, P., Simonetti, J., Asmussen, M. (2019) Protocolo para la evaluación del riesgo de colapso de los ecosistemas: Caso de estudio del bosque espinoso (espinal) en la zona central de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande* 73, 29-56
- Powlson, D. S., Gregory, P. J., Whalley, W. R., Quinton, J.N., Hopkins, D.W., Whitmore, A.P., Hirsch, P.R., Goulding, K.W.T. (2011). Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. *Food Policy* 36, S72-S87.
<https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.11.025>
- Ríos-Núñez, S. (2013). Reestructuración del sector agrario en Chile 1975 - 2010: Entre el proteccionismo del Estado y el modelo económico neoliberal. *Revista de Economía e Sociología Rural* 51(3), 515-533.
<https://doi.org/10.1590/S0103-20032013000300006>
- Root-Bernstein, M., Jaksic, F. (2013). The Chilean espinal: restoration for a sustainable silvopastoral system. *Restoration Ecology* 21(4), 409-414.
<https://doi.org/10.1111/rec.12019>
- Root-Bernstein, M., Valenzuela, R., Huerta, M., Armesto, J., Jaksic, F. (2017). Acacia caven nurses endemic sclerophyllous trees along a successional pathway from silvopastoral savanna to forest. *Ecosphere* 8(2), e01667.
<https://doi.org/10.1002/ecs2.1667>
- Ruiz, C. (2005). Manual de especificaciones técnicas de buenas prácticas de manejo de suelos en laderas. Serie técnica N° 20. Servicio Agrícola y Ganadero, SAG. Santiago, Chile, 56p.
- Rundel, Philip & Cowling, Richard. (2013). Mediterranean-Climate Ecosystems. Simon A Levin (ed.) *Encyclopedia of Biodiversity, Academic press*, (pp 212-222).
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00245-8>
- Schnabel, F., Schwarz, J.A., Dănescu, A., Fichtner, A., Nock, C.A., Bauhus, J., Potvin, C. (2019). Drivers of productivity and its temporal stability in a tropical tree diversity experiment. *Global Change Biology* 25, 4257-4272.
<https://doi.org/10.1111/gcb.14792>
- Schulz, J.J., Cayuela, L., Echeverria, C., Salas, J., Rey Benayas, J.M., 2010. Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975-2008). *Applied Geography* 30, 436-447.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.12.00>
- Segovia, R.A., Pennington, R.T., Baker, T.R., De Souza, F.C., Neves, D.M., Davis, C.C., Armesto, J.J., Olivera-Filho, A.T., Dexter, K.G. (2020). Freezing and water availability structure the evolutionary diversity of trees across the Americas. *Science Advances*, 6(19), 1-9.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz5373>

Seguel, O., Baginsky, C., Contreras, A., Covarrubias, J.I., González, C., Poblete, L. (2013). Physical properties of a fine textured haplocambid after three years of organic matter amendments management. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13(3): 690-705.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000055>

Seguel, O., Farías, E., Luzio, W., Casanova, M., Pino, I., Parada, A.M., Videla, X., Nario, A. (2015). Physical properties of soil after change of use from native forest to vineyard. *Agro Sur* 43(2), 29-39.
<https://doi.org/10.4206/agrosur.2015.v43n2-05>

Soto, L., Leiva, E., Montoya, F., Seguel, O., Delpiano, C., Becerra, P., Vásquez, I., Miranda, A., Smith-Ramírez, C. (2015). Efecto del espino (*Acacia caven* (Mol.)) sobre las propiedades físicas del suelo en exclusiones de pastoreo. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Science, ex Agro-Ciencia* 31 (3), 211-222.

Stolpe, N., Muñoz, C., Zagal, E., Ovalle, C. (2008). Modeling Soil Carbon Storage in the “Espinal” Agroecosystem of Central Chile. *Arid Land Research and Management* 22 (2), 148-158.
<https://doi.org/10.1080/15324980801958042>

Van de Wouw, P., Echeverría, C., Rey-Benayas, J. M., Holmgren, M. (2011). Persistent Acacia savannas replace Mediterranean sclerophyllous forests in South America. *Forest Ecology and Management* 262(6), 1100-1108.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.06.009>

Wall, D.H., Bardgett, R.D., Behan-Pelletier, V., Herrick, J.E., Jones, T.H., Ritz, K., Six, J., Strong, D.R., van del Putten, W.H. (2012) Soil Ecology and Ecosystem Services. *Oxford University Press*. 464p.
10.1093/acprof:oso/9780199575923.001.0001

Youlton, C., Espejo, P., Biggs, J., Norambuena, M., Cisternas, M., Neaman, A., Salgado, E. (2010). Quantification and control of runoff and soil erosion on avocado orchards on ridges along steep-hillslopes. *Ciencia e investigación agraria* 37(3), 113-123
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202010000300010>

FIRMAN

76 científicos/as de 15 Universidades y Centros de Investigación de Chile:

Dra. Ana María Abarzúa
Facultad de Ciencias
anaabarzua@uach.cl
Universidad Austral de Chile

Dr. Felipe Aburto
Facultad de Ciencias Forestales
feaburto@udec.cl
Universidad de Concepción

Dr. Leonardo Almonacid
Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales
leonardo.almonacid@ufrontera.cl
Universidad de la Frontera

Dr. Adison Altamirano
Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales
adison.altamirano@ufrontera.cl
Universidad de la Frontera

Dra. Camila Alvarez
Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia
camila.alvarez@uach.cl
Universidad de Chile

Dra. Mónica Antilen
Facultad de Química y Farmacia
mantilen@uc.cl
Pontificia Universidad Católica de Chile

Dr. Eduardo Arellano
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal
eduardoarellano@uc.cl
Pontificia Universidad Católica de Chile

Dr. Juan Armesto
Departamento de Ecología
jarmesto@bio.puc.cl
Pontificia Universidad Católica de Chile

Dr. Cristian Atala
Instituto de Biología
cristian.atala@pucv.cl
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Dr. Pablo Becerra
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal
pablobecerra@uc.cl
Pontificia Universidad Católica de Chile

Dr. Ramiro Bustamante
Facultad de Ciencias
rbustama@uchile.cl
Universidad de Chile

Dr. León Bravo
Departamento de Ciencias Agronómicas y Recursos Naturales
leon.bravo@ufrontera.cl
Universidad de la Frontera

Dr. Antonio Cabrera
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
acabrera@ucm.cl
Universidad Católica del Maule

Dr. Alejandro Cáceres
Facultad de Ciencias Agronómicas y de los Alimentos
alejandro.caceres@pucv.cl
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Dr. Gastón Carvallo
Instituto de Biología
gaston.carvallo@pucv.cl
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

MSc. Manuel Casanova
Facultad de Ciencias Agronómicas
mcasanov@uchile.cl
Universidad de Chile

Dr. Juan Luis Celis
Facultad de Ciencias Agronómicas y de los Alimentos
juan.celis@pucv.cl
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Dr. Roberto Chávez
Instituto de Geografía
roberto.chavez@pucv.cl
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Dr. Duncan Christie
Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales
duncan.christie@uach.cl
Universidad Austral de Chile

Dr. Sebastián Crespo
Instituto de Geografía
sebastian.crespo@pucv.cl
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Dr. Jaime Cuevas
Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas
jxcuevas@ceaza.cl
CEAZA

Dr. Italo Cuneo
Facultad de Ciencias Agronómicas y de los Alimentos
italo.cuneo@pucv.cl
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Dr. Guillermo D'Elía
Facultad de Ciencias
gdelia@uach.cl
Universidad Austral de Chile

Dr. Iván Díaz
Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales
ivan.diaz@docentes.uach.cl
Universidad Austral de Chile

Dr. José Dörner
Facultad de Ciencias Agrarias y Alimentarias
josedorner@uach.cl
Universidad Austral de Chile

MSc. Leonardo Duran
Escuela de Ingeniería Forestal
leonardo.duran@umayor.cl
Universidad Mayor

Dr. Alfredo Erlwein
Facultad de Ciencias Agrarias y Alimentarias
aerlwein@uach.cl
Universidad Austral de Chile

Dr. Francisco Fontúrbel
Instituto de Biología
francisco.fonturbel@pucv.cl
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Dr. Jean Pierre Francois
Departamento de Ciencias Geográficas
jpfrancois@upla.cl
Universidad de Playa Ancha

Dr. Cristián Frene
Instituto de Ecología y Biodiversidad
cfrene@bio.puc.cl
Universidad de Chile

Dr. Andrés Fuentes
Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales
andres.fuentes@ufrontera.cl
Universidad de La Frontera

Dr. Mauricio Galleguillos
Facultad de Ciencias Agronómicas
mgalleguillos@renare.uchile.cl
Universidad de Chile

Dr. Nicolás García
Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza
ngarcia@uchile.cl
Universidad de Chile

Dr. Rafael García
Instituto de Ecología y Biodiversidad
ragarcia@udec.cl
Universidad de Chile

Dra. Aurora Gaxiola
Departamento de Ecología
agaxiola@bio.puc.cl
Pontificia Universidad Católica de Chile

Dr. Roberto Godoy
Facultad de Ciencias
rgodoy@uach.cl
Universidad Austral de Chile

Dr. Mauro González
Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales
maurogonzalez@uach.cl
Universidad Austral de Chile

Dr. Alvaro González-Reyes
Centro de Observación de la Tierra Hémera
alvaro.gonzalez@umayor.cl
Universidad Mayor

Dr. Pablo Guerrero
Departamento de Botánica
pabloguerrero@udec.cl
Universidad de Concepción

Dr. Alvaro Gutiérrez
Facultad de Ciencias Agronómicas
algutier@uchile.cl
Universidad de Chile

Dr. Carlos Huenchuleo
Facultad de Ciencias Agronómicas y de los Alimentos
carlos.huenchuleo@pucv.cl
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Dr. Mylthon Jiménez
Facultad de Ciencias
mylthonjimenez@uach.cl
Universidad Austral de Chile

Dra. Nathalie Kuhn
Facultad de Ciencias Agronómicas y de los Alimentos
nathalie.kuhn@pucv.cl
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Dr. Antonio Lara
Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales
antoniolara@uach.cl
Universidad Austral de Chile

Dr. Blas Lavandero
Instituto de Ciencias Biológicas
blavandero@utalca.cl
Universidad de Talca

Dr. Luis Letelier
Instituto de Ciencias Biológicas
luis.letelier@utalca.cl
Universidad de Talca

Dr. Antonio Maldonado
Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas
antonio.maldonado@ceaza.cl
CEAZA

Dra. Daniela Manushevich
Departamento de Geografía
danielamanushevich@uchile.cl
Universidad de Chile

MSc. Alicia Marticorena
Departamento de Botánica
amartic@udec.cl
Universidad de Concepción

Dr. Alejandro Miranda
Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales
alejandro.miranda@ufrontera.cl
Universidad de La Frontera

Dr. Narkis Morales
Centro de Modelación y Monitoreo de Ecosistemas
Narkis.Morales@umayor.cl
Universidad Mayor

Dr. Andrés Moreira-Muñoz
Instituto de Geografía
andres.moreira@pucv.cl
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Dr. Ariel Muñoz
Instituto de Geografía
ariel.munoz@pucv.cl
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Dra. Maureen Murua
Centro GEMA: Genómica, Ecología y Medio Ambiente
maureen.murua@umayor.cl
Universidad Mayor

Dr. (c) Francisco Nájera
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de Chile
fnajera@uchile.cl

Dra. Paulette Naulin
Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza
pnaulin@uchile.cl
Universidad de Chile

Dr. Juan Ovalle
Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza
juan.ovalle@uchile.cl
Universidad de Chile

Dr. Aníbal Pauchard
Facultad de Ciencias Forestales
pauchard@udec.cl
Universidad de Concepción

Dra. Susana Paula
Facultad de Ciencias
spaula.julia@uach.cl
Universidad Austral de Chile

Dra. Karen Peña-Rojas
Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza
kpena@uchile.cl
Universidad de Chile

Dra. Gemma Piqué
Facultad de Ciencias Agronómicas y de los Alimentos
gemma.pique@pucv.cl
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Dra. María Fernanda Pérez
Departamento de Ecología
mperez@bio.puc.cl
Pontificia Universidad Católica de Chile

Dr. Jorge Pérez-Quezada
Facultad de Ciencias Agronómicas
jorgepq@uchile.cl
Universidad de Chile

Dr. Marco Pfeiffer
Facultad de Ciencias Agronómicas
mpfeiffer@ug.uchile.cl
Universidad de Chile

Dra. Claudia Rojas
Instituto de Ciencias Agroalimentarias, Animales y Ambientales
claudia.rojas@uoh.cl
Universidad de O'Higgins

Dr. Osvaldo Salazar
Facultad de Ciencias Agronómicas
osalazar@uchile.cl
Universidad de Chile

Dr. Horacio Samaniego
Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales
horacio@ecoinformatica.cl
Universidad Austral de Chile

Dr. Rómulo Santelices Moya
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
rsanteli@ucm.cl
Universidad Católica del Maule

Dra. Rosa Scherson
Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza
rscherson@uchile.cl
Universidad de Chile

Dr. Oscar Seguel
Facultad de Ciencias Agronómicas
oseguel@uchile.cl
Universidad de Chile

Dr. Francisco Squeo
Facultad de Ciencias
f_squeo@userena.cl
Universidad de La Serena

Dra. Yasna Tapia
Facultad de Ciencias Agronómicas
yasnatapiafernandez@uchile.cl
Universidad de Chile

Dra. Aly Valderrama
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad de Talca
avalderrama@utalca.cl

Dr. Reinaldo Vargas Castillo
Departamento de Biología
reinaldo.vargas@umce.cl
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación

Dr. Alejandro Venegas
Centro de Observación de la Tierra Hémera
alejandro.venegas@umayor.cl
Universidad Mayor

Dra. Lorena Vieli
Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales
lorena.vieli@ufrontera.cl
Universidad de la Frontera