

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



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO**

TALLER DE TÍTULO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“Variación del balance hídrico debido a la sustitución de matorral por
paltos en laderas de Chile Central”

THALIA ANAHI GUARDIA SEGOVIA

QUILLOTA, CHILE

2019

Contenido

| | |
|---|----|
| Resumen | 3 |
| Definición del problema u oportunidad | 4 |
| Hipótesis..... | 7 |
| Pregunta | 7 |
| Objetivos..... | 7 |
| Estado del arte..... | 8 |
| Metodología..... | 12 |
| Área de estudio | 12 |
| Caracterización de las parcelas..... | 12 |
| Balance hídrico | 13 |
| Precipitación total | 13 |
| Interceptación | 14 |
| Precipitación directa | 14 |
| Precipitación fustal..... | 14 |
| Escorrentía | 14 |
| Contenido de humedad del suelo | 14 |
| Percolación..... | 15 |
| Riego..... | 15 |
| Evapotranspiración | 15 |
| Análisis estadístico..... | 15 |
| Bibliografía..... | 16 |
| Plan de Trabajo | 18 |
| Carta Gantt | 19 |
| Resultados esperados | 20 |
| Organización | 21 |
| Cargos y funciones..... | 21 |
| Presupuesto | 22 |
| Presupuesto total por cuenta..... | 22 |
| Presupuesto total por año (MM\$) | 23 |

Resumen

La pérdida y degradación de cobertura vegetal natural, junto con cambios de uso de suelo y sustitución de cobertura vegetal, pueden alterar el fraccionamiento de la precipitación y el balance hídrico. En las últimas décadas la Región de Valparaíso ha evidenciado el cambio de uso de suelo en cerros, desde matorral a cultivo de paltos, posicionándose como la región con mayor superficie nacional cultivada de paltos. Esta sustitución de cobertura vegetal natural por una cobertura inducida por el hombre podría modificar el balance hídrico. Por esto, el presente trabajo busca evaluar el impacto del cambio de uso de suelo con sustitución de cobertura en laderas (de matorral a cultivo de paltos sobre camellones a favor de pendiente) sobre los componentes del balance hídrico en la Región de Valparaíso. El experimento se pretende llevar a cabo en la comuna de Quillota, Región de Valparaíso, en una ladera de exposición norte con 30% de inclinación bajo coberturas de matorral y huerto de paltos adultos sobre camellones a favor de pendiente (bajo condiciones de huerto comercial). Mediante el uso de parcelas delimitadas de 6 x 28 m se determinará la escorrentía, la precipitación total (PP) se registrará con pluviógrafo; precipitación directa (Pd) con canaletas y precipitación fustal (Pf) con collarines en los troncos. Mediante la relación $PP - (Pd + Pf)$ se calculará la interceptación. Además, se instalarán sensores de humedad (FDR) para determinar el contenido de humedad del suelo; bandejas de percolación para medir el agua drenada; se instalará una estación meteorológica para calcular la evapotranspiración potencial (ETp) y la evapotranspiración de cultivo se representará mediante una relación lineal que depende de la ETp y la saturación del suelo. Por último, se mantendrá un registro de las tasas de riego en el huerto de paltos. Del proyecto se espera que el cambio de uso de suelo con sustitución de cobertura en laderas (de matorral a cultivo de paltos sobre camellones a favor de pendiente) altere los componentes del balance hídrico aumentando la escorrentía e interceptación en paltos.

Definición del problema u oportunidad

El ciclo hidrológico es el proceso de circulación del agua y muestra los flujos y reservas de agua, en diferentes estados, entre la tierra y la atmósfera (Davie, 2008). En él, los bosques contribuyen significativamente en el equilibrio hidrológico de los ecosistemas de cuencas hidrográficas, prestando servicios como protección de suelo y agua y lucha contra la desertificación (FAO, 2008).

La pérdida de la cobertura vegetal natural, a menudo, es un precursor de la erosión del suelo y del deterioro de su capacidad de almacenamiento de agua (Reynolds *et al.*, 2003). Según este mismo autor, estas modificaciones pueden conducir a la desertificación debido a la degradación a corto plazo del ecosistema ocasionada por los seres humanos, sumado a condicionantes de largo plazo como el cambio climático.

Esta pérdida y degradación de la vegetación, junto con cambios de uso de suelo y sustitución de cobertura vegetal, pueden alterar el fraccionamiento de la precipitación y el balance hídrico (Foley *et al.*, 2005). Lo anterior reduce la infiltración y la regulación de la escorrentía, promoviendo la erosión del suelo y generando un impacto negativo en la recarga de agua subterránea (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Reynolds *et al.*, 2003). A esto se suma el cambio climático, el cual modifica el régimen de las precipitaciones y temperaturas; y el crecimiento proyectado de la población mundial. Este último se traduce en el aumento de la demanda de alimentos y con ello la expansión de las zonas de cultivo e intensificación de la producción, significando un riesgo adicional para la degradación del suelo y del agua (FAO, 2014). En la zona centro-sur de Chile, la principal causa de escasez hídrica es de origen climático el cual genera un déficit de precipitaciones (Corma, 2015). Sin embargo, según la misma fuente, esta escasez se ve acentuada por la demanda de agua para riego que, al año 2010, el 73% del agua de uso consuntivo se destinó a la agricultura.

La sustitución de cobertura se entiende como el reemplazo completo o parcial de un tipo de cobertura por otra (Turner *et al.*, 1993). Cada cubierta presenta diversas características que modifican la capacidad de interceptación y almacenamiento de lluvias del dosel, entre ellas su variación estacional; el índice de área foliar, ángulo de la hoja y cubierta; capacidad de almacenamiento de arbustos y/o capas de hojarasca, hidrofobicidad de maderas y hojas y coronas sobresalientes del árbol (Crockford y Richardson, 2000). Al

sustituir una cobertura por otra se verán afectados los procesos de interceptación, generación de escorrentías (Iroume y Huber, 2000) y la redistribución de las precipitaciones (precipitación directa y fustal), modificando la cantidad de agua que alcanza la superficie del suelo (Huber y Oyarzún, 1990, Crockford y Richardson, 2000).

Por otro lado, el reemplazo de la cobertura puede verse acompañado de un cambio de uso de suelo, por ejemplo, de bosque o matorral silvestre a cultivo frutal (desde uso para vida silvestre a uso agrícola). El cambio de uso de suelo se refiere a los propósitos por los cuales los humanos explotan la cobertura de la tierra, siendo usos comunes la agricultura, pastoreo, silvicultura, extracción de minerales y recreación (Turner *et al.*, 1993). Esta transformación de paisajes naturales por paisajes culturales, intercambia los servicios ecosistémicos de apoyo y regulación por servicios de aprovisionamiento, como la producción de cultivos y maderas (Foley *et al.*, 2005; Schulz *et al.*, 2010). Tales sustituciones de cobertura terrestre generan un gran impacto en el equilibrio hídrico (Turner *et al.*, 1993).

En Chile, específicamente en la zona Mediterránea de Chile central, el cambio de la cobertura terrestre muestra una tendencia general a una reducción de la vegetación natural por coberturas inducidas por el hombre. Este proceso tiene una conversión paulatina, de bosque a matorrales, y una conversión altamente dinámica de matorrales (cubierta predominante en este paisaje semiárido) por cultivos agrícolas y plantaciones forestales (Schulz *et al.*, 2010). En el centro de Chile, la agricultura se ha convertido en uno de los principales impulsores del cambio de cobertura. Así, la provincia de Quillota triplicó la superficie de paltos (*Persea americana* Mill.) y duplicó la de viñedos (*Vitis vinifera* L.), entre los años 1990-2010, ambos a expensas de la vegetación nativa en laderas empinadas (Armesto *et al.*, 2010).

Según CIREN (2007), la superficie de frutales en laderas en la Cuenca del Aconcagua es de 9.398,3 ha, donde el 39,3% se encuentra en pendientes mayores a 30% y un 42,7% de superficie plantada es en reemplazo de matorrales densos y semidensos. Una de las especies con mayor superficie en la Región de Valparaíso (19.134,5 ha, 64% de la superficie del país) es palto (ODEPA-CIREN, 2017). Este cultivo es plantado en laderas debido a la búsqueda de climas benignos que signifiquen producciones tempranas y libres de heladas (Gil, 2006); al aumento de los precios de la tierra y la expansión urbana en las

regiones de valles agrícolas en el centro de Chile. Lo anterior limita a los huertos de paltos a suelos marginales y cerros, con el consiguiente reemplazo y degradación del bosque esclerófilo mediterráneo y el riesgo de erosión de la zona central (Geo-Chile, 2005). Esta tendencia se mantiene a la alta demanda del mercado y la rentabilidad del cultivo (Castro y Espinosa, 2008).

Sin embargo, una práctica común para el cultivo de paltos en ladera son los camellones a favor de pendiente, práctica que favorece la escorrentía, y por lo tanto, reduce la infiltración de agua al suelo, modificando el balance hídrico en las microcuencas (Youlton *et al.*, 2010).

En el marco actual del cambio climático, las precipitaciones han mostrado una declinación marcada en la región afectada por la sequía, donde el recurso hídrico toma gran relevancia. La masiva conversión de bosque nativo a plantaciones ha producido una serie de impactos negativos al medio ambiente, siendo uno de ellos el desbalance en la regulación hídrica y reducción de la calidad del agua (Lara y Veblen, 1993). Bajo este contexto, resulta fundamental dimensionar la modificación del balance hídrico debido al reemplazo de matorral por cultivo de paltos en laderas sobre camellones a favor de pendiente, y de esta forma contar con una base sobre la cual desarrollar estrategias para mitigar procesos que promuevan la degradación del suelo y del recurso hídrico.

Hipótesis

El cambio de uso de suelo con sustitución de cobertura en laderas (de matorral nativo a cultivo de paltos sobre camellones a favor de pendiente) alterarían los componentes del balance hídrico aumentando la interceptación y escorrentía en paltos.

Pregunta

¿Cómo varían los componentes del balance hídrico con la sustitución de matorral a cultivo de paltos en laderas?

Objetivos

General

- ✓ Evaluar el impacto del cambio de uso de suelo con sustitución de cobertura en laderas (de matorral a cultivo de paltos sobre camellones a favor de pendiente) sobre los componentes del balance hídrico en la Región de Valparaíso.

Específicos

- ✓ Cuantificar los componentes del balance hídrico en matorral y huerto de paltos en laderas.
- ✓ Comparar los componentes que se ven alterados por la sustitución de cobertura y cambio de uso de suelo.

Estado del arte

La cobertura vegetal cumple un papel fundamental en la distribución de la precipitación a nivel de sitio. Zonas de mayor cobertura presentan mayor interceptación y evapotranspiración y por tanto una menor recarga del acuífero (Manrique-Alba *et al.*, 2015).

En un estudio realizado en Chiloé, Chile, al comparar el balance hídrico de un bosque perennifolio y su conversión a cobertura de arbustos, se obtuvo que la fracción transpirada era de un 22% y 8%, respectivamente de una precipitación total anual de ~2.100 mm. Por otro lado, las pérdidas por interceptación, estimadas por el Modelo de Gash, en bosques fueron de ~30% en comparación con el 1% de la precipitación anual perdida a través de la cobertura de arbustos. Como resultado de estas diferencias, solo alrededor de la mitad de la precipitación ingresa al suelo bajo cubierta forestal en comparación con el 90% de la cobertura de arbustos. Esta diferencia en las pérdidas por interceptación del dosel explica un aumento en el nivel freático desde un promedio de 10 - 45 cm (Díaz *et al.*, 2007).

En otro estudio realizado en España, el autor evaluó el balance hídrico de interceptación en distintas especies del matorral mediterráneo semiárido (*Juniperus oxycedrus*, *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis*) y *Pinus halepensis* durante cuatro años. El balance anual medio para las cuatro especies estudiadas indica una pérdida por interceptación alrededor del 29% en pino y enebro, un 28% en tomillo y un 26% en romero. A pesar de tener valores de interceptación similares, bajo coberturas de matorral, la precipitación neta ($P_d + P_f$) tiene menor capacidad erosiva que bajo cubiertas de pino, permitiendo proteger el suelo. Por esto, el autor señala que las especies de matorral parecen más adecuadas para ser utilizadas en la recuperación o restitución de cubiertas vegetales (Serrato, 1998).

Respecto a estudios de balance hídrico en cultivos frutales, en un estudio realizado en Florida (EE. UU) se midió el balance hídrico en un huerto maduro de cítricos. En él determinaron que alrededor del 35% (700 mm) de la lluvia fue interceptada por el dosel. Casi el 50% de lo precipitado, de 2.009 mm entrantes en el área no irrigada, fue efectivo y el resto drenado debajo de la zona de la raíz. Estos resultados reflejan la influencia de la interceptación del dosel en la precipitación efectiva y el drenaje (Fares *et al.*, 2008). Otro estudio realizado en el Norte de Tailandia, la precipitación acumulada fue de 941 mm. El

promedio acumulado de precipitación neta fue de 794 mm calculando una interceptación media de 147 mm (16%) (Spohrer *et al.*, 2006). Este autor también utilizó el Modelo de Gash para estimar la interceptación.

Según Hakimi *et al.* (2018), se determinó la partición de la precipitación bruta en precipitación directa (Pd), precipitación fustal (Pf) e interceptación (I) para *Punica granatum* en una región árida de Irán. En él, se midieron 73 tormentas (Precipitación bruta acumulativo de 382,3 mm) la Pd anual, la Pf y la I variaron del 71 al 83%, del 6 al 10% y del 10 al 19% de la precipitación bruta, respectivamente, en todos los huertos de este estudio.

A continuación, en el Cuadro 1, se comparan distintos estudios donde se han determinado el balance hídrico bajo distintos tipos de cubiertas vegetales:

Cuadro 1: Efecto del tipo de bosque en la redistribución de las precipitaciones (Precipitación directa (Pd), precipitación fustal (Pf) e interceptación (I))

| Referencia | Especies | Precipitación total (P) | Pd | | Pf | | I | |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | | | mm | mm %P | mm %P | mm %P | | |
| (Iroumé y Huber, 2002) | <i>Pseudotsuga menziesii</i> | 3.805 | 2.754 | 72 | 223 | 6 | 828 | 22 |
| | Bosque nativo de hoja ancha | 3.805 | 2.993 | 79 | 271 | 7 | 541 | 14 |
| (Neal <i>et al.</i> , 1993) | <i>Fagus sylvatica</i> | 607 | 490 | 81 | 21 | 4 | 97 | 16 |
| (Iroumé y Huber, 2000) | Bosque nativo | 1.346 | 891 | 66 | 105 | 8 | 350 | 26 |
| | <i>Pseudotsuga menziesii</i> | 1.346 | 812 | 60 | 81 | 6 | 453 | 34 |
| (Huber y Iroumé, 2001) | <i>Pinus radiata</i> | 1.628-2.648 | 505- | 55 - | 12 - | 1-13 | 199 - | 11 - |
| | | | 3662 | 82 | 403 | | 579 | 39 |
| | Bosque latifoliado | 734-2.973 | 472- | 60- | 18- | 1-8 | 204- | 10- |
| | | | 2650 | 86 | 131 | | 1.097 | 37 |
| (Viville <i>et al.</i> , 1993) | <i>Picea abies</i> | 1.711 | 1.117 | 65 | 8.9 | 0.5 | 584 | 34 |
| (Fares <i>et al.</i> (2008) | Cítricos | 2.009 | - | - | - | - | 700 | 35 |
| (Spohrer <i>et al.</i> , 2006) | <i>Litchi chinensis</i> Sonn. | 941 | - | - | - | - | 147 | 16 |

| | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------|------|------|------|------|------|
| (Hakimi <i>et al.</i> , 2018) | <i>Punica granatum</i> | 382,3 | 71 - | 6 - | 10 - | | |
| | | | 83 | 10 | 19 | | |
| (Serrato, 1998) | <i>Juniperus oxycedrus</i> | 225,7 | - | 46,6 | - | 24,6 | 28,8 |
| | <i>Thymus vulgaris</i> | 225,7 | - | 39,8 | - | 32,1 | 28,1 |
| | <i>Rosmarinus officinalis</i> | 225,7 | - | 33,8 | - | 40,1 | 26,1 |
| | <i>Pinus halepensis</i> | 225,7 | - | 69,7 | - | 1,6 | 28,7 |

Es difícil extraer conclusiones generales sobre las pérdidas por interceptación en tipos de bosque particulares porque casi siempre dependen del tipo de lluvia y otras condiciones meteorológicas durante el período de estudio. Además, los bosques presentan diversas características que afectan la interceptación como su densidad (árboles/ha), ángulo de ramificación, la uniformidad o falta de uniformidad en la altura de la copa, la naturaleza y el grosor de la capa de corteza, la forma e inclinación de la hoja, el índice del área foliar, entre otros factores que no siempre son fáciles de identificar y cuantificar (Crockford y Richardson, 2000).

Es importante contrastar los flujos hidrológicos antes y después del reemplazo y degradación de una cubierta vegetal, debido a que se verán afectados los procesos de interceptación y la generación de escorrentías (Iroumé y Huber, 2000) , modificando la cantidad de agua que llega a la superficie del suelo (Crockford y Richardson, 2000; Huber y Oyarzun, 1990).

Además de medir la interceptación de las precipitaciones que presentan árboles y arbustos, es necesario considerar la interceptación de pastos y hojarasca, ya que puede modificar la cantidad de agua que llega al suelo. Putuhena y Cordery (1996), en un experimento de laboratorio en Australia, midieron la capacidad de interceptación de la hojarasca de un bosque esclerófilo seco y una plantación de *Pinus radiata* de 15 años. La capacidad de interceptación de hojarasca fue de 2,8 mm para eucalipto y de 1,7 mm para los pinos. La contribución de la hojarasca, el tallo y ramas, y la vegetación herbácea a la capacidad general de interceptación fue similar para la plantación de pino y eucalipto, correspondiendo al 47%, 8% y 45%, respectivamente. En otro estudio realizado por López *et al.*, (2017) se cuantificó la interceptación mediante la simulación de lluvias, emulando las

características (intensidad-duración-frecuencia) de las precipitaciones del semiárido mexicano. De este estudio se obtuvo que la interceptación de la cubierta vegetal herbácea fluctuó entre 0,4 y 1,4 mm.

Por otro lado, estudios han demostrado que plantaciones en laderas aumentan la escorrentía. Es así como en España suelos agrícolas dedicados al cultivo de almendro (*Prunus amygdalus* L.) y olivo (*Olea europea* L.), muchos de ellos instalados en laderas con fuertes pendientes, generan altas tasas de escorrentía $24,8 \pm 35,5$ mm y $11,0 \pm 20,4$ mm, respectivamente. Situación contraria se produce en este mismo lugar en la condición de matorral el cual presenta valores de $5,6 \pm 10,0$ mm (Durán *et al.*, 2014). En Chile, el cultivo de paltos en laderas utiliza camellones a favor de pendiente, lo cual concentra la escorrentía superficial en el entre-camellón (CIREN, 2007). El cultivo de paltos en camellones a favor de pendiente presenta una escorrentía, en promedio, 20 veces mayor que la condición de vegetación nativa. Esta se puede deber a distintos factores como la saturación del suelo por el riego, la edad de los camellones y las plantas, el encostramiento superficial y/o la compactación del suelo. Este incremento de la escorrentía es equivalente a una reducción del agua infiltrada en el suelo, modificando el balance hídrico natural en la microcuenca (Youlton *et al.*, 2010).

Metodología

Área de estudio

La investigación se realizará en la comuna de Quillota, Valle del Aconcagua, Región de Valparaíso en una ladera de exposición norte con 30% de pendiente. Los suelos del lugar estarían clasificados como Asociación Challay o Lo Vásquez, del orden Mollisol (CIREN, 2009). La zona posee un clima templado cálido supratermal con régimen de humedad semiárido (Csb2Sa), presenta estaciones marcadas veranos cálidos y secos e inviernos fríos y lluviosos. La temperatura varía entre un máximo de enero de 27,5°C y un mínimo de julio de 5,4°C. La precipitación media anual es de 429 mm de precipitación media anual, y periodo seco de 8 meses (Santibáñez, 2017).

En este sector se seleccionarán 1 o 2 predios dependiendo de si es posible encontrar las dos coberturas (paltos y matorral) en el mismo predio. Si se seleccionan dos predios, es esencial que estos se encuentren cercanos y en la misma ladera con la misma pendiente, de manera de disminuir la variabilidad entre precipitaciones.

Se llevarán a cabo dos tratamientos en el área de estudio correspondientes a:

- 1) Matorral espinoso compuesto principalmente por *Acacia caven*, *Trevoa trinervis* y cubierta herbácea formada, en su mayoría, por ejemplares de Poáceas. Condición previa al establecimiento del huerto de paltos.
- 2) Huerto adulto de paltos establecido en camellones a favor de pendiente distanciados a 6 m entre-camellón. Se encontrará bajo las condiciones de un huerto comercial.

Caracterización de las parcelas

Se realizarán dos calicatas de 1 m x 1 m x 1,5 m de profundidad, se identificará perfiles de suelo, profundidad de raíces y la posible presencia de alguna estrata impermeable que impida realizar las mediciones. Cada tratamiento contará con 3 parcelas de 6 m de ancho y 28 m de largo (168 m²), delimitadas con láminas metálicas de 30 cm de alto. Se caracterizará la flora para el tratamiento de matorral realizando un inventario de las plantas presentes (árboles y/o arbustos) que serán utilizados para cuantificar interceptación. Posteriormente, para calcular el porcentaje de cobertura de cada

tratamiento se utilizará un dron multirrotor que capturará fotos aéreas de las parcelas, luego estas serán procesadas por el software de análisis de imagen CobCal.

Balance hídrico

Con el objetivo de cuantificar los componentes del balance hídrico en matorral y huerto de paltos en laderas se utilizará la ecuación de balance hídrico (1) basada en la metodología de continuidad de masas propuesta por Feller (1981). Las variables de esta ecuación se medirán en terreno y se complementará en base a la metodología propuesta por Echeverría *et al.* (2007):

$$EVPT = PP - IC - \Delta W - ESC - PER \quad (1)$$

Para el tratamiento de huerto de paltos se cuantificará un componente adicional que corresponde al riego (2), el cual significa una entrada de agua al sistema. La fórmula sería la siguiente:

$$EVPT = PP - IC - \Delta W - ESC - PER + Ri \quad (2)$$

Donde:

- EVPT: evapotranspiración (mm)
- PP: precipitación total (mm)
- IC: interceptación del dosel (mm)
- ΔW : variación del contenido de humedad del suelo (mm)
- ESC: escurrimiento superficial (mm)
- PER es la percolación bajo el horizonte de las raíces (mm)
- Ri: riego (mm)

Precipitación total

Para registrar la precipitación en forma continua, se instalará a campo abierto, cerca de los tratamientos, un pluviógrafo de báscula y datalogger y un pluviómetro. El pluviógrafo será calibrado en laboratorio de manera de verificar el buen funcionamiento y precisión del instrumento. Para detectar anomalías, los datos obtenidos se compararán con datos públicos arrojados por la estación meteorológica de Quillota y con los obtenidos del pluviómetro.

Interceptación

El agua interceptada por el dosel y que luego es evaporada se determinará mediante la relación:

$$IC = PP - (Pd + Pf)$$

En donde:

- Pd: Precipitación directa, aquella que atraviesa el dosel
- Pf: Precipitación fustal, aquella que escurre por los fustes

Una vez medida la Pf, Pd y PP se obtendrá el resultado de lo interceptado por el dosel.

Precipitación directa

La precipitación que atraviesa el dosel se medirá con canaletas de PVC en forma de "U" de 12 cm de ancho por 6 m de largo a 50 cm del suelo y se ubicarán 5 por tratamiento. El agua será recolectada en bidones de 60 L.

Precipitación fustal

La medición del agua que escurre por el fuste se realizará mediante el uso de collarines de goma de 1 m a 0,3 m del suelo. Estos se engraparán al tallo y posteriormente se sellarán con silicona. Cada collarín conectará con un bidón de 25 L donde el agua será recolectada. Se realizarán 5 repeticiones por tratamiento.

Escorrentía

Para determinar la escorrentía se utilizarán parcelas delimitadas (Veiga y Prado, 1993), de 28 m de largo y 6 m de ancho con 3 repeticiones por cada tratamiento. Estas serán de chapas metálicas galvanizadas, contarán con un colector en la parte baja que conducirá la escorrentía a un sistema de 2 estanques de almacenamiento por parcela, cada uno cuenta con un volumen de 250 L. Después de cada lluvia se mide la escorrentía total.

Contenido de humedad del suelo

El contenido volumétrico del agua en el perfil del suelo se medirá con sondas de capacitancia (FDR) Drill & Drop de 0,90 m y 0,10 m de longitud con sensores fijos instalados cada 10 cm. En el tratamiento de matorral se instalarán dos sondas de 0,90m

por cada parcela dispuestos en la parte superior e inferior de estas. En el tratamiento de huerto de paltos se utilizarán cuatro sondas por parcela, dos de 0,90 m y dos de 0,10 m entre camellón, esto debido al relieve modificado que presentarán (camellón y entre camellón). Las sondas se distribuirán en la 2 parte superior de las parcelas (sobre camellón y entre camellón) y 2 en la parte inferior (sobre camellón y entre camellón).

Percolación

El agua drenada a través del suelo se medirá mediante la instalación de bandejas metálicas horizontales de 0,3 m x 0,3 m. Para su instalación se realizarán 2 calicatas de 2 m x 2m x 1 m de profundidad en cada repetición de cada tratamiento. Para el tratamiento de matorral, se instalarán 2 bandejas por parcela (parte superior e inferior de la parcela) a 1 m de profundidad, para huerto de paltos, se instalarán 2 bandejas en la parte superior de la parcela (sobre y entre camellón) y 2 en la parte inferior (sobre y entre camellón). Las bandejas serán enterradas a 1 m de profundidad en las paredes de las calicatas. En el entre camellón las bandejas serán colocadas a 0,30 m de profundidad. Cada bandeja conectará, a través de un tubo, a un estanque con capacidad de 20 L que estará expuesto a la superficie del suelo.

Riego

El proyecto mantendrá un registro de la tasa de riego y los períodos para cuantificar su aporte al balance hídrico. Se instalará un caudalímetro con datalogger en la entrada de las parcelas de huerto de paltos.

Evapotranspiración

Se calculará la evapotranspiración potencial (ET_p) mediante una estación meteorológica y la evapotranspiración de cultivo se representará mediante una relación lineal que depende de la evapotranspiración potencial ET_p y la saturación del suelo (Brocca *et al.*, 2008).

Análisis estadístico

Con el objetivo de comparar los componentes que se ven alterados por la sustitución de cobertura y cambio de uso de suelo, se realizará un análisis estadístico mediante una comparación de la media con un análisis de varianza de una vía (ANOVA), para detectar diferencias significativas para cada variable respuesta del balance hídrico de cada tratamiento (huerto de paltos y matorral).

Bibliografía

- Armesto, J. J., Manuschevich, D., Mora, A., Smith-Ramirez, C., Rozzi, R., Abarzúa, A. M., y 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(2), 148-160. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.07.006>
- Brocca, L., Melone, F., y Moramarco, T. (2008). On the estimation of antecedent wetness conditions in rainfall–runoff modelling. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(5), 629-642.
- CIREN. (2007). *Determinación y evaluación de fragilidad de laderas en la cuenca de Casablanca y en las cuencas hidrográficas de los ríos Petorca, La Ligua y Aconcagua, V región*. Retrieved from Santiago, Chile:
- CIREN. (2009). *Estudio agrológico V Región. Descripciones de Suelos. Materiales y Símbolos*. Retrieved from
- Crockford, R., y Richardson, D. (2000). Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological processes*, 14(16-17), 2903-2920.
- Davie, T. (2008). *Fundamentals of hydrology* (Second ed.). London, England: Routledge.
- Díaz, M. F., Bigelow, S., y Armesto, J. J. (2007). Alteration of the hydrologic cycle due to forest clearing and its consequences for rainforest succession. *Forest Ecology and Management*, 244(1), 32-40. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.030>
- Durán, V., Rodríguez, C., Tavira, S., y Martínez, J. R. (2014). *Impacto de la erosión y escorrentía en laderas de agroecosistemas de montaña mediterránea* (Vol. 23).
- Echeverría, C., Huber, A., y Taberlet, F. (2007). Estudio comparativo de los componentes del balance hídrico en un bosque nativo y una pradera en el sur de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 28, 271-280.
- Fares, A., Dogan, A., Abbas, F., Parsons, L. R., Obreza, T. A., y Morgan, K. T. (2008). Water Balance Components in a Mature Citrus Orchard. *Soil Science Society of America Journal*, 72(3), 578-585. doi:10.2136/sssaj2007.0167
- Feller, M. C. (1981). Water balances in Eucalyptus regnans, E. obliqua, and Pinus radiata forests in Victoria. *Australian Forestry*, 44(3), 153-161. doi:10.1080/00049158.1981.10674308
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., . . . Snyder, P. K. (2005). Global Consequences of Land Use. *Science*, 309(5734), 570-574. doi:10.1126/science.1111772
- Hakimi, L., Sadeghi, S. M. M., Van Stan, J. T., Pypker, T. G., y Khosropour, E. (2018). Management of pomegranate (Punica granatum) orchards alters the supply and pathway of rain water reaching soils in an arid agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 259, 77-85. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.03.001>
- Huber, A., y Oyarzun, C. (1990). Variaciones anuales en precipitación, escurrimiento e intercepción en un bosque adulto de Pinus radiata. *Turrialba*, 40(4), 503-508.
- Iroumé, A., y Huber, A. (2000). Intercepción de las lluvias por la cubierta de bosques y efecto en los caudales de crecida en una cuenca experimental en Malalcahuello, IX Región, Chile.
- Lara, A., y Veblen, T. (1993). *Forest plantations in Chile: a successful model?*
- Manrique-Alba, A., Ruiz - Yanetti, S., Chirino, E., Moutahir, H., y Bellot, J. (2015). *El balance hídrico en el suelo de 4 pinares (Pinus halepensis) de repoblación de la provincia de Alicante* (Vol. 41).

- Millennium Ecosystem Assessment, M. (2005). *Ecosystems and human well-being*. Retrieved from Neal, C., Robson, A. J., Bhardwaj, C. L., Conway, T., Jeffery, H. A., Neal, M., . . . Walls, J. (1993). Relationships between precipitation, stemflow and throughfall for a lowland beech plantation, Black Wood, Hampshire, southern England: findings on interception at a forest edge and the effects of storm damage. *Journal of Hydrology*, 146, 221-233. doi:[https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90277-G](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90277-G)
- Putuhena, W. M., y Cordery, I. (1996). Estimation of interception capacity of the forest floor. *Journal of Hydrology*, 180(1), 283-299. doi:[https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)02883-8](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02883-8)
- Reynolds, J. F., Stafford-Smith, D. M., y Lambin, E. (2003). *Do humans cause deserts? An old problem through the lens of a new framework: the Dahlem desertification paradigm*. Paper presented at the Proceedings of the 7th International Rangelands Congress.
- Santibáñez, F. (2017). *Atlas agroclimático de Chile. Estado actual y tendencias del clima. Tomo III Regiones de Valparaíso, Metropolitana, del Libertador Bernardo O'Higgins y del Maule*. Retrieved from Santiago de Chile:
- Schulz, J. J., Cayuela, L., Echeverria, C., Salas, J., y Rey Benayas, J. M. (2010). Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975-2008). *Applied Geography*, 30(3), 436-447. doi:10.1016/j.apgeog.2009.12.003
- Serrato, F. (1998). *Interceptación en matorral mediterráneo semiárido: Algunos resultados obtenidos en el área experimental de "El Ardal" Cuenca de Mula (Murcia) (Vol. 28)*.
- Spoehrer, K., Jantschke, C., Herrmann, L., Engelhardt, M., Pinmanee, S., y Stahr, K. (2006). Lychee tree parameters for water balance modeling. *Plant and Soil*, 284(1), 59-72. doi:10.1007/s11104-006-0031-2
- Veiga, M. d., y Prado, W. L. d. (1993). *Manual para la instalación y conducción de experimentos de pérdidas de suelos*. Santiago de Chile: FAO.
- Viville, D., Biron, P., Granier, A., Dambrine, E., y Probst, A. (1993). Interception in a mountainous declining spruce stand in the Strengbach catchment (Vosges, France). *Journal of Hydrology*, 144(1), 273-282. doi:[https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90175-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90175-9)
- Youlton, C., Espejo, P., Biggs, J., Norambuena, M., Cisternas, M., Neaman, A., y Salgado, E. (2010). Quantification and control of runoff and soil erosion on avocado orchards on ridges along steep-hillslopes. *Cienc Investig Agrar*, 37(3), 113-123.

Plan de Trabajo

El proyecto consta de 5 etapas, tiene una duración de 3 años y se llevará a cabo con 3 personas. Las etapas son:

- 1) Adquisición de equipos y materiales:** El director del proyecto será el encargado de comprar los equipos de medición para la humedad del suelo y la precipitación; y los materiales para construir las parcelas de escorrentía, canaletas, collarines, bandejas de percolación y calicatas.
- 2) Construcción e instalación de tratamientos:** Se seleccionarán los sitios donde irán las parcelas de cada tratamiento, se caracterizará el suelo del sitio de estudio y se delimitarán parcelas e instalarán los equipos de medición. Se llevarán los materiales al lugar y se construirán las canaletas, instalarán las parcelas de escorrentía, se realizarán las perforaciones para medir la humedad del suelo y cavarán las calicatas y, a continuación, se colocarán las bandejas de percolación.
- 3) Medición y mantención de equipos e instalaciones:** Después de cada evento de precipitaciones, se tomarán las diferentes mediciones y se limpiarán equipos e instalaciones. Se hará revisión de los tratamientos antes y después del periodo de precipitaciones y después de cada evento.
- 4) Análisis de datos y conclusiones:** Se recopilarán y ordenarán los datos de las mediciones y se analizarán estadísticamente. Se estudiarán y se llevarán a cabo las debidas conclusiones de la investigación.
- 5) Difusión de resultados:** Se realizará la organización e implementación del seminario que presente las conclusiones y logros del proyecto.

Resultados esperados

Del proyecto se espera:

- Que el cambio de uso de suelo con sustitución de cobertura en laderas (de matorral a cultivo de paltos sobre camellones a favor de pendiente) alterarían los componentes del balance hídrico aumentando la escorrentía e interceptación en paltos.
- Generar información sobre el balance hídrico del matorral espinoso y del cultivo de paltos en laderas que sirva para la toma de decisiones en la intervención del territorio, ordenamiento territorial y legislación ambiental nacional.
- Fomentar la investigación creando un área experimental que recoja continuamente datos del comportamiento de los componentes del balance hídrico de ambos tratamientos.
- Determinar un K_c para el matorral espinoso.
- Difundir a la comunidad científica y local logros y alcances del proyecto, a través de seminarios de difusión, congresos y/o papers.
- Lograr una serie de publicaciones científicas con los datos e información obtenida durante y después del proyecto.

Organización

Cargos y funciones

| Nombre del profesional | Formación/grado académico | Cargo en el proyecto | Funciones (N°) | Costo del personal (MM\$) | Aporte FONDO CONCURSABLE (MM\$) |
|------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------|---------------------------|---------------------------------|
| Thalia Guardia Segovia | Ingeniero Agrónomo | Directora | 8 | 6,0 | 6,0 |
| Ayudante 1 | Estudiante de pregrado | Ayudante del director | 5 | 0,3 | 0,3 |
| Ayudante 2 | Estudiante de pregrado | Ayudante del director | 5 | 0,3 | 0,3 |
| Ayudante 3 | Estudiante de pregrado | Ayudante del director | 5 | 0,3 | 0,3 |

Director del proyecto:

- Dirigir y liderar la realización del proyecto.
- Gestionar trabajo en equipo
- Capacitar al equipo de trabajo para establecimiento de equipos e instalaciones y recolección de datos
- Instalación de equipos de medición en terreno y caracterización de tratamiento.
- Administrar los recursos del fondo, sueldos, equipos y materiales como también la adquisición de estos.
- Visitar parcelas todos los meses para evaluar estado del huerto, medir cobertura, mantención de equipos, etc.
- Analizar los resultados y obtener conclusiones del experimento.
- Preparar el seminario para difusión de los resultados.

Personal de apoyo (Estudiantes de pregrado de áreas a fines):

- Confección e instalación de collarines, canaletas y calicata.
- Recolectar, periódicamente, los datos arrojados por los equipos e instalación en terreno.
- Movimiento de materiales de construcción.
- Mantención y limpieza de equipos e instalaciones.
- Asistir al director durante el proyecto.

Presupuesto

Presupuesto total por cuenta

| | Cuenta | FONDO CONCURSABLE | APORTE EMPRESA | | Total (MM\$) |
|----|--------------------------------|----------------------|----------------|------------------|---------------|
| | | | Pecuniario | No pecuniario | |
| A. | Total Recursos Humanos | 20,700 | 0,000 | 3,600 | 24,300 |
| B. | Total Subcontratos | 8,381 | 0,000 | 0,000 | 8,381 |
| C. | Total Capacitación | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| D. | Total Misiones Tecnológicas | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| E. | Total Difusión | 2,630 | 0,000 | 0,060 | 2,690 |
| F. | Total Gastos de Inversión | 23,480 | 0,000 | 0,000 | 23,480 |
| G. | Total Gastos de Operación | 15,280 | 0,000 | 8,700 | 23,980 |
| H. | Total Gastos de Administración | 10,571 | 0,000 | 1,854 | 12,425 |
| | Porcentaje de Aporte (%) | 85,078 | 0,000 | 14,922 | 100,000 |
| | TOTAL(MM\$) | 81,042 | 0,000 | 14,214 | 95,256 |

Presupuesto total por año (MM\$)

| | Cuenta | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Total (MM\$) |
|----|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| A. | Total Recursos Humanos | 8,100 | 8,100 | 8,100 | 24,300 |
| | <i>Pecuniario</i> | 6,900 | 6,900 | 6,900 | 20,700 |
| | <i>No Pecuniario</i> | 1,200 | 1,200 | 1,200 | 3,600 |
| B. | Total Subcontratos | 3,460 | 2,460 | 2,460 | 8,380 |
| | <i>Pecuniario</i> | 3,460 | 2,460 | 2,460 | 8,380 |
| | <i>No Pecuniario</i> | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| C. | Total Capacitación | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | <i>Pecuniario</i> | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | <i>No Pecuniario</i> | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| D. | Total Misiones Tecnológicas | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | <i>Pecuniario</i> | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | <i>No Pecuniario</i> | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| E. | Total Difusión | 0,000 | 0,400 | 2,290 | 2,690 |
| | <i>Pecuniario</i> | 0,000 | 0,400 | 2,230 | 2,630 |
| | <i>No Pecuniario</i> | 0,000 | 0,000 | 0,060 | 0,060 |
| F. | Total Gastos de Inversión | 22,480 | 1,000 | 0,000 | 23,480 |
| | <i>Pecuniario</i> | 22,480 | 1,000 | 0,000 | 23,480 |
| | <i>No Pecuniario</i> | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| G. | Total Gastos de Operación | 11,541 | 6,220 | 6,220 | 25,720 |
| | <i>Pecuniario</i> | 8,641 | 3,320 | 3,320 | 23,620 |
| | <i>No Pecuniario</i> | 2,900 | 2,900 | 2,900 | 8,700 |
| H. | Total Gastos de Administración | 6,837 | 2,727 | 2,861 | 12,425 |
| | <i>Pecuniario</i> | 6,222 | 2,112 | 2,237 | 10,571 |
| | <i>No Pecuniario</i> | 0,615 | 0,615 | 0,624 | 1,854 |
| | Total (MM\$) | 52,418 | 20,907 | 21,931 | 95,256 |
| | <i>Pecuniario</i> | 47,703 | 16,192 | 17,147 | 81,042 |
| | <i>No Pecuniario</i> | 4,715 | 4,715 | 4,784 | 14,214 |