

Capítulo 5

BALANCES HÍDRICOS EN CUENCAS PEQUEÑAS

Autor:

Hamil Uribe C.
Ing. Ingeniero Civil Agrícola, Dr.
Instituto de Invetigaciones Agropecuarias
INIA



5.1 INTRODUCCIÓN

Dada las características del secano de la Región de O'Higgins y la escasa información hidrológica local existente, es muy importante estudiar la zona a nivel de microcuencas. Esto permite analizar en mejor forma la disponibilidad de agua superficial para la construcción de obras, como por ejemplo pequeños tranques, en beneficio de los pequeños productores agrícolas de la zona.

La disponibilidad de agua en las cuencas está asociada a diversos factores, tales como clima, topografía, tipo de suelo, cobertura vegetal, redes de drenaje, etc. La combinación de estos factores afecta el balance hídrico y permite que una cuenca cuente con más o menos agua, tenga crecidas grandes o pequeñas. Es decir, finalmente influye sobre la disponibilidad anual de agua para acumuladores y caudales extremos que deben ser evacuados por los vertederos de los embalses, evitando la destrucción del muro.

En este estudio se evaluaron tres cuencas pequeñas, durante tres años, con el fin de cuantificar los parámetros del balance hídrico bajo distintas condiciones de suelo, uso de suelo y topografía, representativas de la zona.

5.2 ÁREA DE ESTUDIO E INSTRUMENTACIÓN

En el área de estudio se seleccionaron tres microcuencas representativas, con superficies de 7; 8 y 13 ha, mostradas en la Figura 1 y caracterizadas en la Tabla 1. Cada microcuenca tuvo un uso de suelo representativo del secano. La microcuenca de 7 ha, localizada en el sector El Calvario, comuna de Paredones, presentó cobertura de plantación de pinos adultos. Las otras dos microcuencas se ubicaron en la comuna de Litueche, en el Centro Experimental Hidango, perteneciente al INIA y corresponden a 8 ha de pradera y 13 ha de espinal. La Figura 1 presenta la localización de las microcuencas en el secano de la Región de O'Higgins.

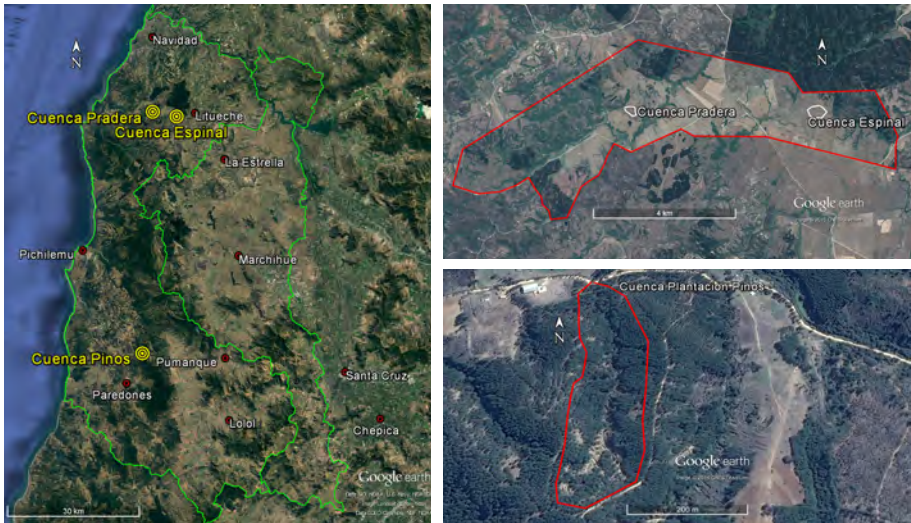


Figura 1. Ubicación de las tres cuencas seleccionadas para el estudio. A la izquierda un mapa de ubicación del secano de la Región de O'Higgins. A la derecha arriba, en rojo Centro Experimental Hidango y en blanco la microcuencas sobre pradera (izq.) y espinal (der.). A la derecha abajo, cuenca con plantación de pinos en Paredones.

Además de la cobertura vegetal, existen otras características importantes para el análisis hidrológico de las cuencas, que deben ser considerados al realizar el análisis del balance hídrico. La Tabla 1 muestra una caracterización de las tres microcuencas evaluadas.

Tabla 1. Caracterización de las microcuencas del secano de O'Higgins.

1. Característica	Unidad	Microcuenca N° 1	Microcuenca N° 2	Microcuenca N° 3
Cobertura Vegetal	-	Pinos	Espinal	Pradera
Área	ha	7	13	8
Perímetro	km	1,2	1,5	1,1
Elevación min.	m.	159	296	294
Elevación max.	m.	209	302	316
Longitud del cauce Principal	km	0,47	0,55	0,39
Pendiente del cauce Principal	M/m	0,09	0,01	0,056

La escorrentía de las cuencas es de origen pluvial con escasos o nulos aportes de aguas subterráneas. Los cauces de las microcuencas cubiertas con pradera y espinal, en el Centro Experimental Hidango pertenecen a la sub-cuenca del estero Topocalma, mientras la microcuenca con pinos es parte de la sub-cuenca del Estero Nilahue. Todas ellas pertenecientes a las cuencas Costeras Rio Rapel - Estero Nilahue.

A la salida de cada microcuenca se instalaron estructuras de aforo tipo canoa Santa Rita, con el objetivo de medir el flujo cada 5 minutos durante los tres años de estudio (Foto 1). Este tipo de estructura de aforo fue elegida debido a su capacidad de auto limpieza, factor fundamental en las condiciones del secano, donde los eventos de lluvia producen aumentos importantes del caudal, con gran arrastre de sedimentos. Otro tipo de aforadores, como por ejemplo los vertederos de pared delgada (triangulares, rectangulares o trapezoidales) quedarían completamente sedimentados durante un evento de lluvia, perdiendo su capacidad de medir el flujo. Otro aspecto esencial a considerar para medir la escorrentía en el secano es la alta variación en el rango del flujo a medir. Durante periodos de poca lluvia es posible encontrar caudales base mínimos en los esteros, de algunos litros por minuto por ejemplo. Sin embargo el valor del flujo fácilmente puede aumentar 100 o más veces durante un evento de precipitación intenso y la estructura de aforo debe tener la capacidad de medir con buena resolución y exactitud en ambas condiciones extremas.



Foto 1. Canoa Santa Rita en microcuenca con plantación de pinos.

En todas las microcuencas se utilizó el mismo tipo de estructura de aforo, equipadas con dos sensores de presión Hobo en cada caso (Foto 2). Un sensor de presión estuvo sumergido en el agua y el otro a presión atmosférica. Con ambas lecturas, mediante el software HOBOWare Pro, se obtuvo el nivel del agua en la canoa y a partir de este dato, el caudal que escurrió, gracias a una curva de descarga (Figura 2).



Foto 2. Sensor de presión Hobo U20.

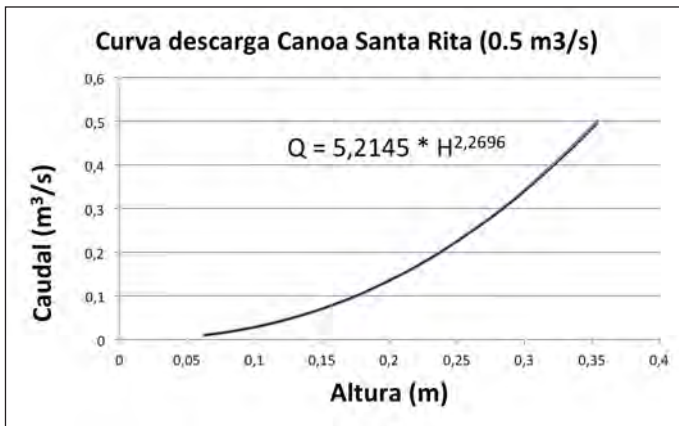


Figura 2. Curva de descarga de canoa Santa Rita con capacidad para 0,5 m³/s.

Para la medición de precipitación se utilizaron pluviómetros de balancín con registradores Hobo (Foto 3 A y B), que permitieron almacenar datos y extraerlos con la ayuda de un computador portátil. El equipo registró un pulso cada 0,2 mm de lluvia caída. En las microcuencas cubiertas con espino y pradera además existen estaciones meteorológicas automática y manual del Campo Experimental Hidango del INIA. En

la cuenca con pinos se instalaron dos medidores de precipitación Hobo, uno fuera de la plantación y otro bajo los árboles, con el fin de estimar la interceptación del agua por el follaje. El pluviómetro bajo el follaje fue adaptado para contar con datos espacialmente más representativos (Foto 3C). El resto de pluviómetros fueron instalados en un sistema de tubo al aire libre (Foto 3D) que permitió medir la lámina de precipitación acumulada.

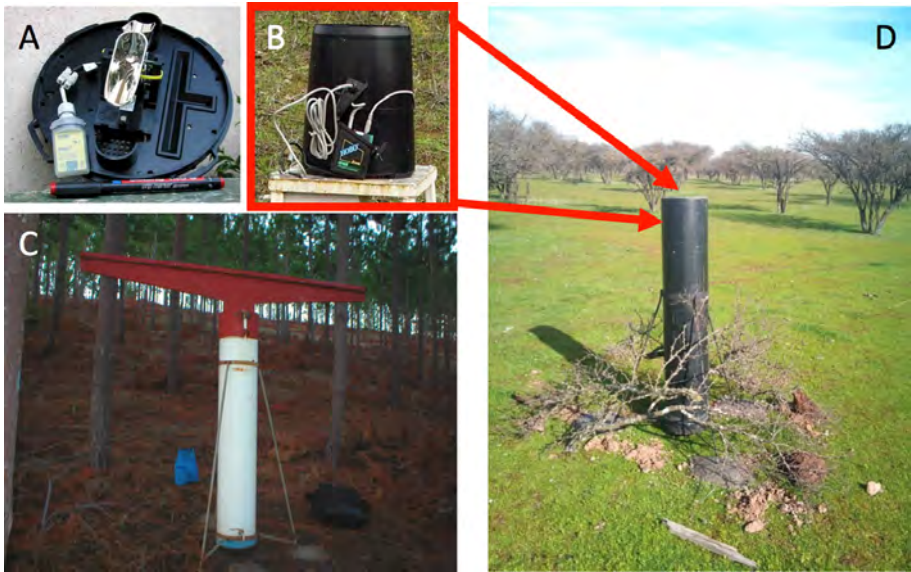


Foto 3. Pluviómetro con registrador. A: Data logger y sistema de balancín. B: Balde que recibe la lluvia. C: Adaptación para uso bajo bosque, D: Adaptación al aire libre.

5.3 COMPORTAMIENTO ESTACIONAL DE LAS LLUVIAS Y ESCORRENTÍA EN LAS MICROCUENCAS DEL SECANO

Las aguas superficiales que escurrieron por los esteros o ríos en la zona del estudio, presentaron un comportamiento estacionalmente intermitente (seco en verano) y también discontinuo entre eventos (seco entre eventos de precipitación), siguiendo el patrón de las precipitaciones (Figuras 4; 5 y 6).

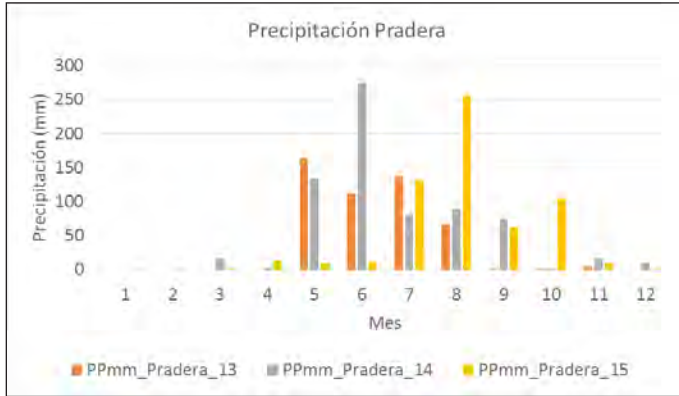


Figura 4. Distribución mensual de la precipitación en la cuenca con cobertura de pradera, Hidango, Litueche, para los años 2013, 2014 y 2015.

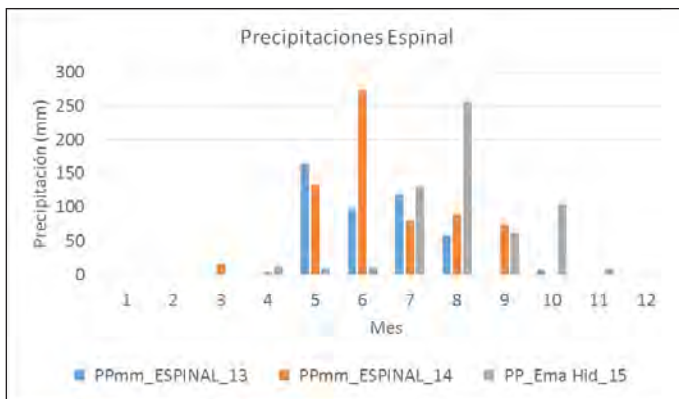


Figura 5. Distribución mensual de la precipitación en la cuenca con cobertura de espinales, Hidango, Litueche, para los años 2013, 2014 y 2015.

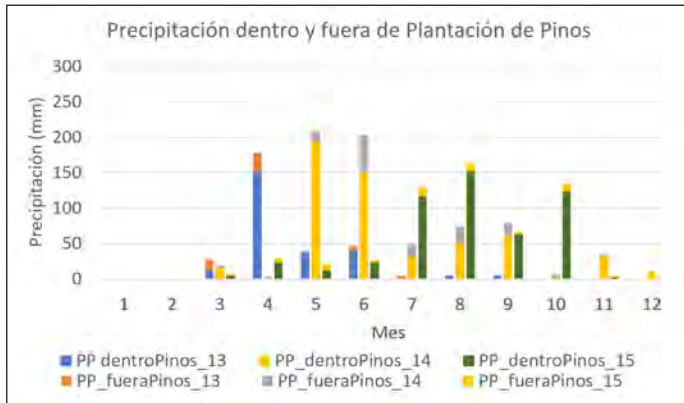


Figura 6. Distribución mensual de la precipitación en la cuenca con cobertura de pinos, sector El Calvario, Paredones, para los años 2013, 2014 y 2015. Se presenta precipitación total (fuera de plantación) y dentro la plantación (descontando la intercepción por el follaje).

El nivel de lluvia del periodo 2013-2015 fue bajo en comparación a las estadísticas de la zona. En la Figura 7 se muestra un gráfico de las estadísticas de diez estaciones de la zona. El eje de las abscisas (X) corresponde a la lluvia en mm/año, mientras el eje de las ordenadas (Y) es la distribución de las lluvias.

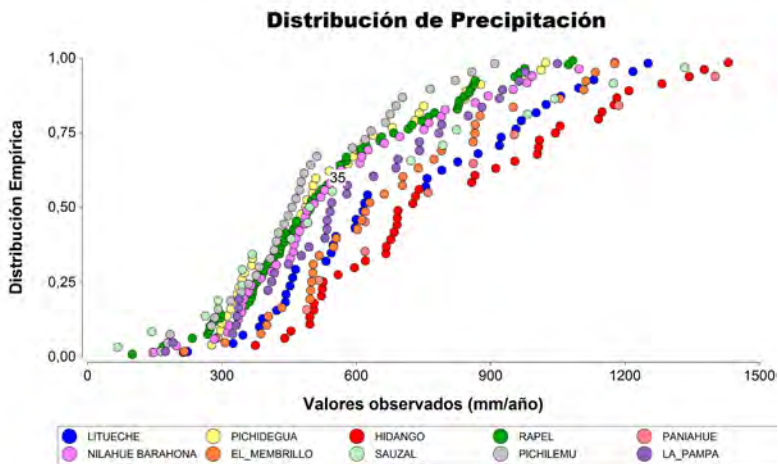


Figura 7. Gráfico de la distribución de precipitaciones anuales para diez estaciones meteorológicas de la zona.

Para entender mejor la aplicación del este gráfico consideremos la estación Hidango (verde) y los datos de la Tabla 2.

Tabla 2. Precipitaciones anuales de la estación Hidango durante el periodo en estudio y precipitación promedio histórica de la misma estación.

Año	Precipitación (mm/año)	%
2013	524	22
2014	740,5	60
2015	611,8	33
Prom. 1972-2015	797,73	

Se puede observar que en el año 2013 la lluvia anual fue de 524 mm. Si se busca este valor en el eje X del gráfico de la Figura 7 y luego se traza una línea vertical (seguir la flecha) hasta encontrar los puntos verdes correspondientes a la distribución estadística de Hidango y finalmente se traza una línea horizontal hacia al eje Y, se ve que llega a un punto que marca 0,22 (22% de probabilidad). Esto significa que el año 2013 la lluvia tuvo un nivel tal que el 22% de los años han ocurrido lluvias menores y el resto de los años (78%), han ocurrido lluvias mayores.

El mismo procedimiento se puede realizar para los años 2014 y 2015. Observe que el año 2014 corresponde a 0,6, así aproximadamente el 60% de los años ha llovido menos que el 2014 y el 40% restante ha llovido más. Es decir, el año más lluvioso considerado en el estudio corresponde a un año algo mayor que el promedio. Por otra parte el año 2015 presentó una condición intermedia 33% de probabilidad.

Este patrón se mantiene para toda el área de estudio, indicando que las lluvias fueron bajas, dato que debe ser considerado al momento de sacar conclusiones.

En relación a la distribución estacional de las lluvias se puede decir que se concentraron durante los meses de invierno y la escorrentía presentó un retardo de 100 a 200 mm de precipitación en las microcuencas, dependiendo de la intensidad de las primeras lluvias, cobertura vegetal, pendiente y del tipo de suelo. Este comportamiento es concordante con la información de cuencas de mayor tamaño como la del estero Nilahue.

Las Figuras 8, 9 y 10 presentan la precipitación y escorrentía de la cuenca con pradera para los años 2013; 2014 y 2015, respectivamente.

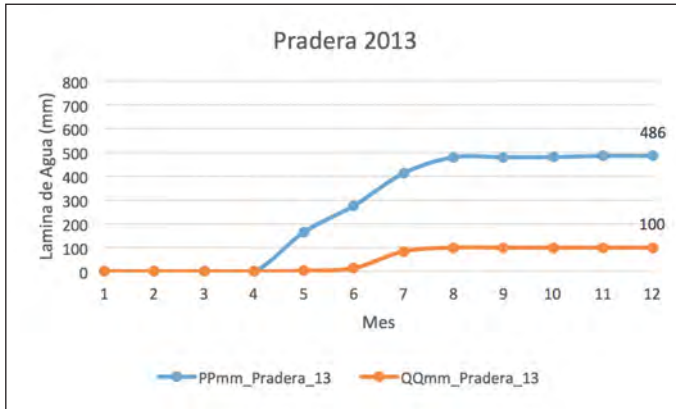


Figura 8. Precipitación y escorrentía acumulada en la cuenca con pradera para el año 2013.

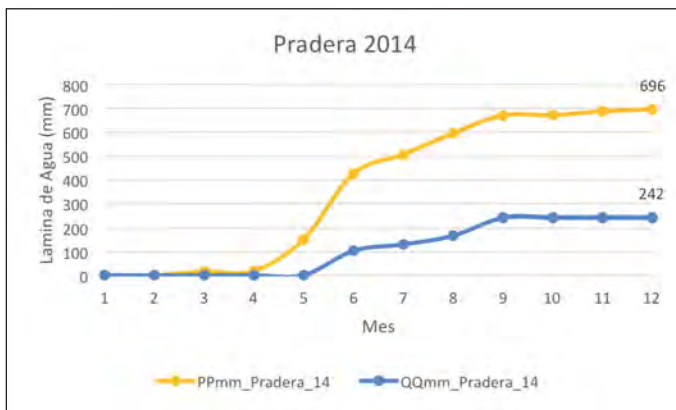


Figura 9. Precipitación y escorrentía acumulada en la cuenca con pradera para el año 2014.

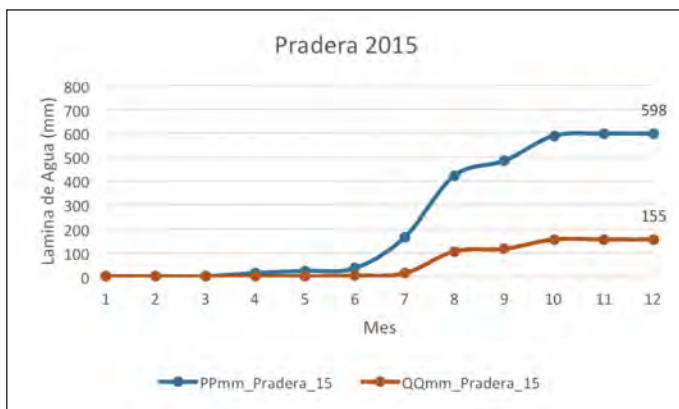


Figura 10. Precipitación y escorrentía acumulada en la cuenca con pradera para el año 2015.

El comportamiento de la cuenca cubierta por pradera presentó un coeficiente de escorrentía (CE) de 21%; 35% y 26% para los años 2013, 2014 y 2015, respectivamente. El CE es la relación entre el aguas escurrida y la precipitación para un periodo determinado. Notar que a mayor precipitación acumulada anual, mayor coefiente de escorrentía. Otro punto interesante es que la escorrentía se inicia luego de cierta cantidad de lluvia caída de 174 mm, 153 mm y 178 mm para los años 2013, 2014 y 2015, respectivamente.

Las Figuras 11, 12 y 13 presentan la precipitación y escorrentía de la cuenca con espinales para los años 2013; 2014 y 2015, respectivamente.

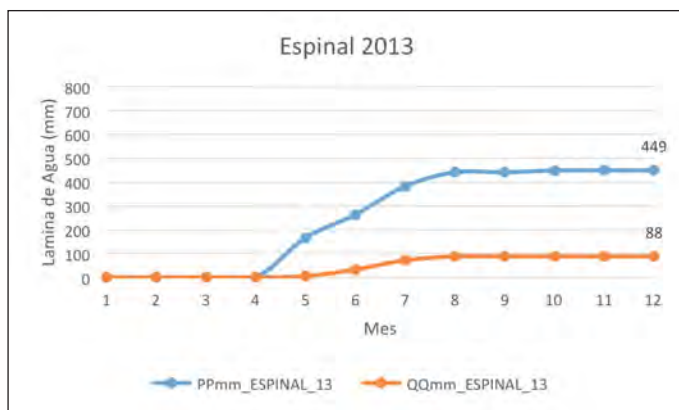


Figura 11. Precipitación y escorrentía acumulada en la cuenca con espinal para el año 2013.

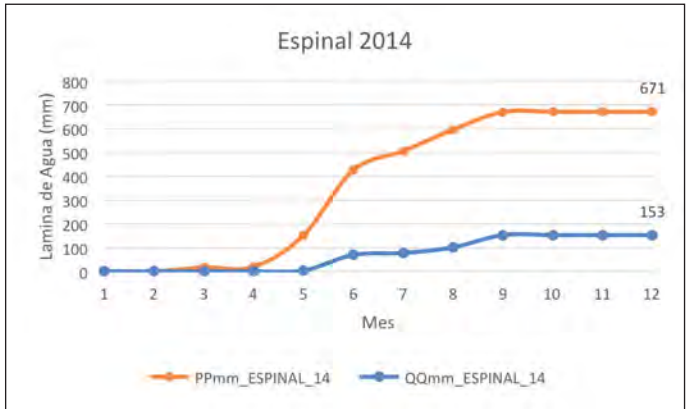


Figura 12. Precipitación y escorrentía acumulada en la cuenca con espinal para el año 2014.

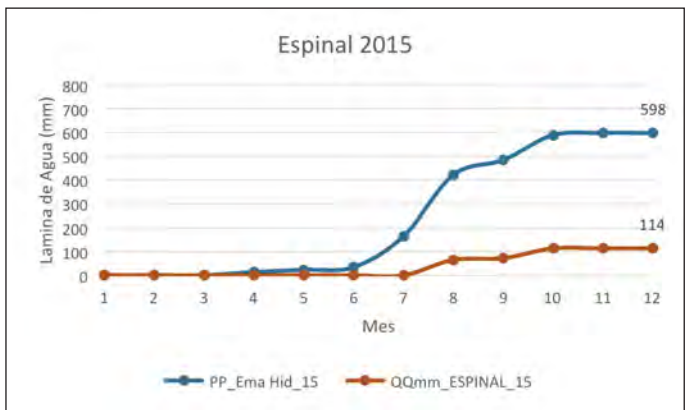


Figura 13. Precipitación y escorrentía acumulada en la cuenca con espinal para el año 2015. EmaHid_15 es estación meteorológica automática de Hidango, año 2015.

El comportamiento de la cuenca cubierta con espinal presentó un coeficiente de escorrentía (CE) de 20%; 23% y 19% para los años 2013, 2014 y 2015, respectivamente. En esta condición de cobertura y cuenca de baja pendiente los CE fueron similares para los tres años. Otro punto interesante es que la escorrentía se inicia luego de cierta cantidad de lluvia caída de 175 mm, 153 mm y 184 mm para los años 2013, 2014 y 2015, respectivamente. Los valores del inicio del escurrimiento de agua fueron muy similares a los de la cuenca con pradera, que se encuentra a pocos kilómetros de distancia.

Las Figuras 14, 15 y 16 presentan la precipitación, precipitación bajo los árboles, es decir, descontando la intercepción del agua por el follaje, y la escorrentía superficial de la cuenca con pinos adultos para los años 2013; 2014 y 2015, respectivamente.

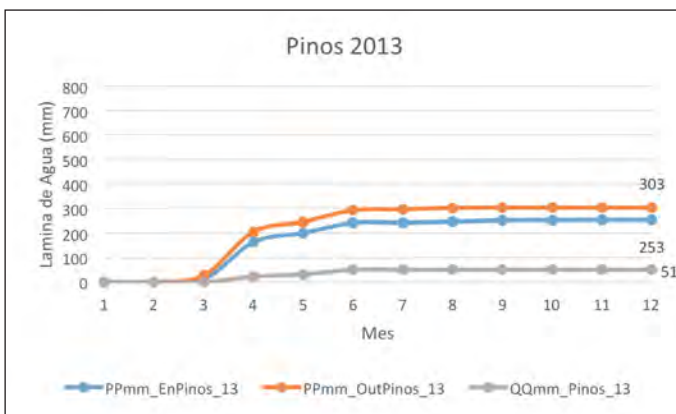


Figura 14. Precipitación, precipitación bajo los árboles (descontada la intercepción) y escorrentía acumulada en la cuenca con pinos para el año 2013.

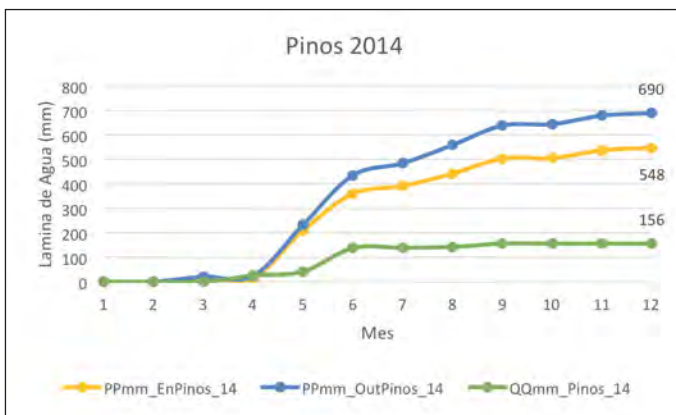


Figura 15. Precipitación, precipitación bajo los árboles (descontada la intercepción) y escorrentía acumulada en la cuenca con pinos para el año 2014.

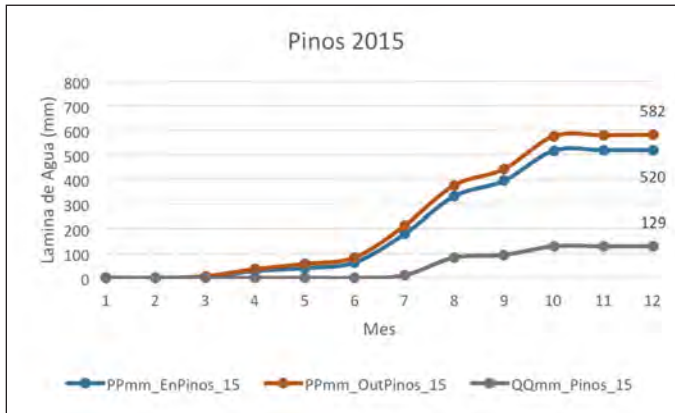


Figura 16. Precipitación, precipitación bajo los árboles (descontada la interceptación) y escorrentía acumulada en la cuenca con pinos para el año 2015.

La cuenca cubierta con plantación de pinos adultos presentó un coeficiente de escorrentía (CE) de 17%; 23% y 22% para los años 2013, 2014 y 2015 respectivamente. Por otra parte la interceptación medida fue de 15%, 21% y 11% para los años 2013, 2014 y 2015. Esta es una cuenca de alta pendiente y los CE fueron relativamente bajos, amortiguados por la cobertura de los arboles. La escorrentía se inició luego de cierta cantidad de lluvia caída de 160 mm, 198 mm y 227 mm para los años 2013, 2014 y 2015, respectivamente. Los valores del inicio del escurrimiento de agua fueron retardardados respecto de las cuencas con pradera y espinal, que se encuentran en condiciones diferentes.

La Figura 17 resume los datos anuales para las tres condiciones de cobertura vegetal y los tres años del estudio. Los coeficientes de escorrentía encontrados fueron relativamente bajos en comparación con otras mediciones realizadas en el secano de la Región del Biobio, sin embargo se debe destacar que los años 2013; 2014 y 2015 fueron años secos, todos bajo la precipitación media de la zona. Para años más lluviosos se podría esperar coeficientes de escorrentía mayores.

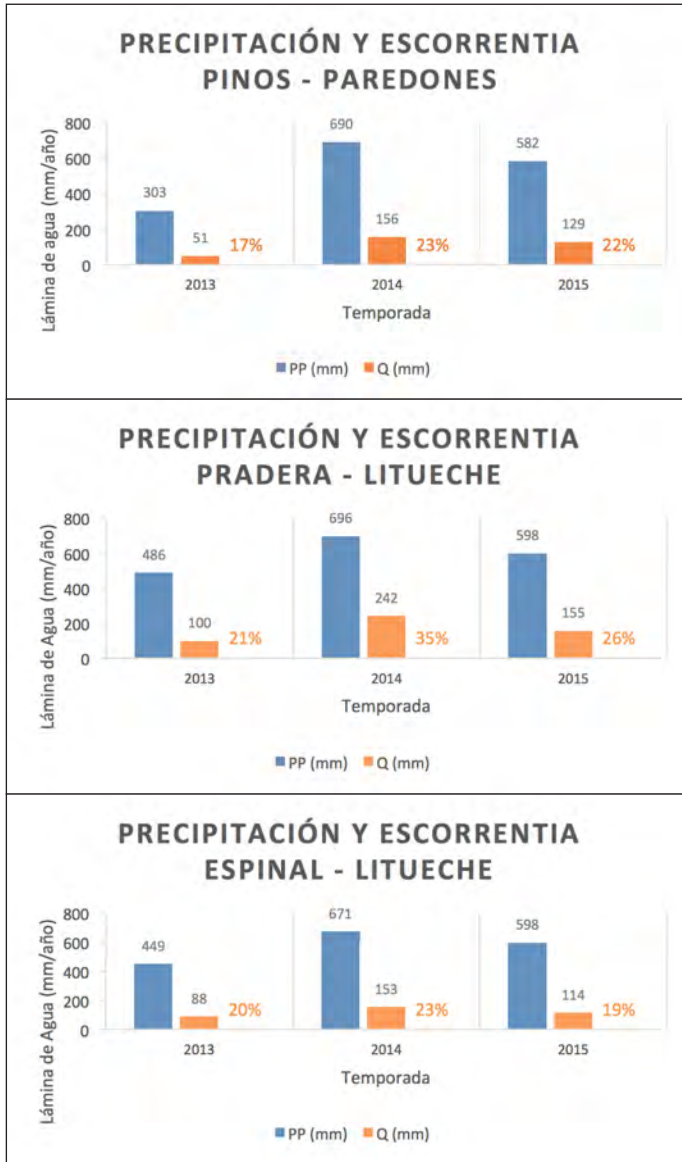


Figura 17. Resumen de datos anuales para las tres condiciones de cobertura vegetal y los tres años del estudio.

5.4 CUANTIFICACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUS LIMITACIONES

Como se mencionó anteriormente, sólo un porcentaje de la lluvia se transforma en escorrentía superficial, la cual podría eventualmente ser acumulada en embalses. Considerando la información de precipitación medida durante estos años y el escurrimiento medido en las cuencas pequeñas para una condición de poca lluvia se pudo analizar en forma general la condición de las cuencas con respecto a la disponibilidad de aguas para embalses.

Se tomó el año 2013, que fue el más seco de los tres medidos, como base para el análisis. Como se dijo previamente, la precipitación del año 2013 en Litueche corresponde a aproximadamente a una probabilidad de 22%. Esto significa que 78 de 100 años serán más lluviosos que el 2013 y el volumen de agua generado este año tendría una seguridad mayor al 75%.

Aunque este año, 2013, fue muy seco, se generó escorrentía superficial en los esteros, por lo cual es posible acumular agua. La pregunta es: ¿Cuánta?

Las cuencas evaluadas cubiertas con pinos, espinal y pradera tienen un área de 7; 13 y 8 ha, (Tabla 1). La cuenca con espinos es plana, mientras que las otras presentan pendiente fuerte.

La Figura 18 presenta los gráficos que comparan los volúmenes de agua generados en las cuencas con diferentes coberturas vegetales para los años 2013; 2014 y 2015. El año 2013 es de interés porque representa un nivel de seguridad de riego cercana a 75%.

Se debe tener en cuenta que las cuencas con pradera y pinos son comparables por presentar pendientes fuertes y áreas similares, de 7 y 8 ha. Por otro lado la cuenca cubierta con espinales es plana y tiene una superficie que duplica las anteriores.

En años con poca lluvia, como el 2013, la cobertura con pinos afectó fuertemente la capacidad aportante en relación a pradera, alcanzando algo más de 50% de volumen acumulado de ésta. Esto es explicado en parte por la intercepción, que juega un rol importante, que se acentúa con bajos niveles de lluvia.

Otro punto interesante es que el año 2013 la pradera acumuló una cantidad de agua similar que la cuenca cubierta con espinal, claro que en la mitad de superficie.

Una cuenca pequeña cubierta con pradera podría aportar entre 25% y 50% más agua que una cubierta con pinos, bajo niveles de lluvia promedio. En años secos la cuenca con pradera podría aportar el doble.

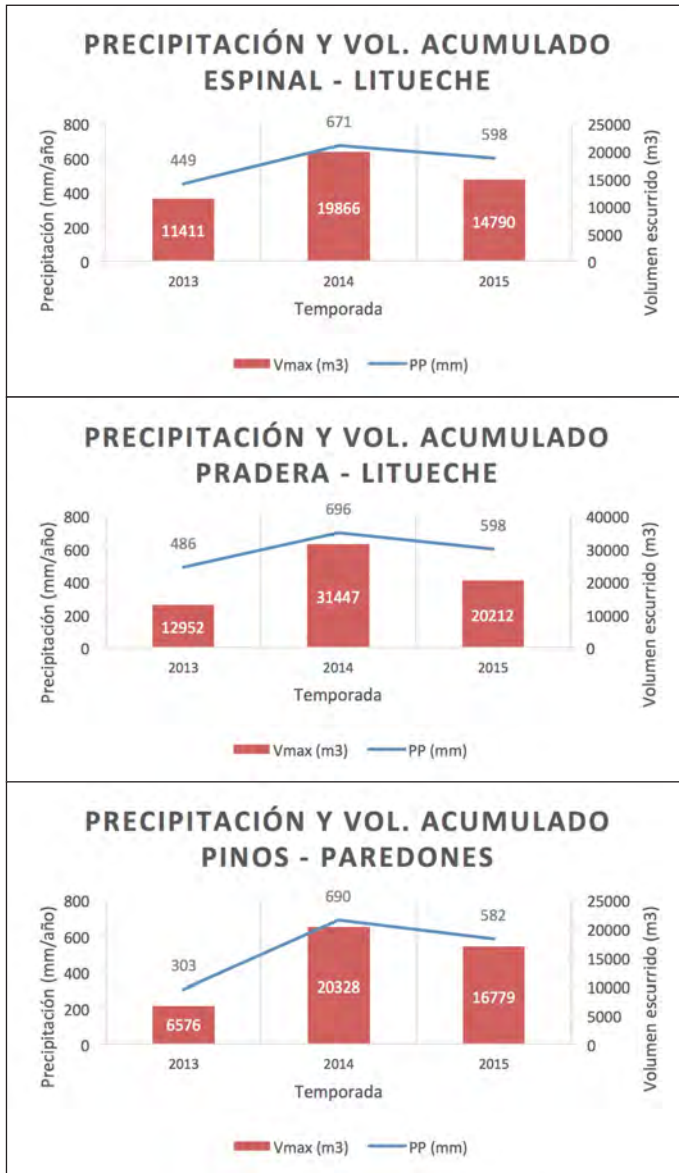


Figura 18. Resultados anuales de volumen de escurrimiento en relación a las precipitaciones para las tres condiciones de cobertura vegetal y los tres años del estudio.

5.5 MODELO DE PRECIPITACIÓN ESCORRENTÍA PARA EL SECANO DE LA REGIÓN DE O'HIGGINS

De acuerdo a los datos obtenidos y otros antecedentes del equipo de trabajo se ha logrado definir un modelo simple de precipitación-escorrentía para el secano (Figura 19).

Este modelo indica que existe un umbral de precipitación A , antes del cual no se produce escurrimiento. A partir del umbral, el nivel de escorrentía anual es proporcional a la lluvia acumulada anual, con una pendiente constante Z (figura 19).

El parámetro A tiene relación con la capacidad del suelo para retener las primeras lluvias, que lo encuentran seco. La pendiente Z representa el comportamiento de las cuencas frente a las lluvias, una vez que el suelo está saturado, o al menos con alto nivel de humedad. La pendiente Z podría ser mayor en cuencas con alta pendiente, en suelos con arcillas expansivas, que al estar húmedos reducen su capacidad de infiltración, coberturas vegetales que no retienen agua en forma de intercepción. Por otro lado, plantaciones forestales y prácticas como subsolado podrían reducir el valor de z .

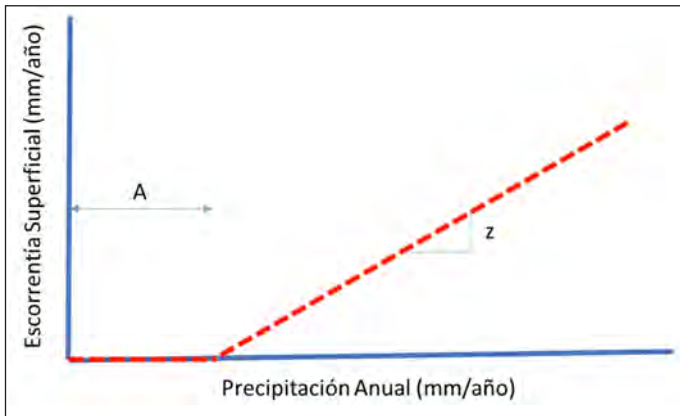


Figura 19. Modelo de precipitación-escorrentía para el secano.

Si bien existen pocos años de datos para cuantificar con exactitud la escorrentía anual en base a las precipitaciones según cobertura vegetal, pendiente de la cuenca y/o tipo de suelo, se puede formular una ecuación general para determinar volúmenes en diseño de tranques pequeños, para el secano.

Se debe estimar estadísticamente una lluvia anual de diseño con cierta probabilidad de ocurrencia. Luego este valor puede ser usado en la siguiente ecuación:

$$E = (P - A) * Z \quad (1)$$

Donde:

E	Escorrentía superficial Anual (mm)
P	Precipitación Anual (mm)
A	Umbral (150-200)
Z	Pendiente (0.3-0.4)

La ecuación 1 puede ser usada, pero siempre con precaución puesto que los valores de A y Z podrían variar en distintas condiciones.

Para calcular el volumen anual escurrido que podría ser acumulado se debe conocer el área de la cuenca.

$$V = E * S * 10 \quad (2)$$

Donde:

V	Volumen anual (m ³)
E	Escorrentía superficial Anual (mm)
S	Superficie de la cuenca (ha)

