



# Almacenamiento de agua en el suelo según tipo de cubierta forestal, topografía y geología en microcuencas del centro-sur de Chile.

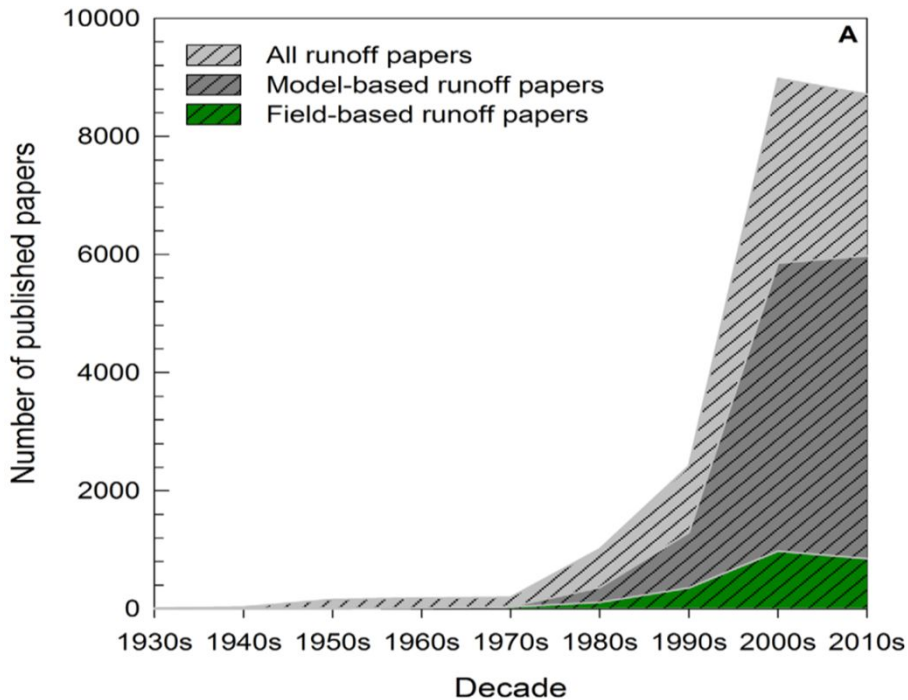
Barrientos et al., en revisión (Hydrological Processes)

**Guillermo Barrientos, Andrés Iroumé**

2017



**Plantaciones Forestales en el nuevo Ciclo de Desarrollo Forestal**

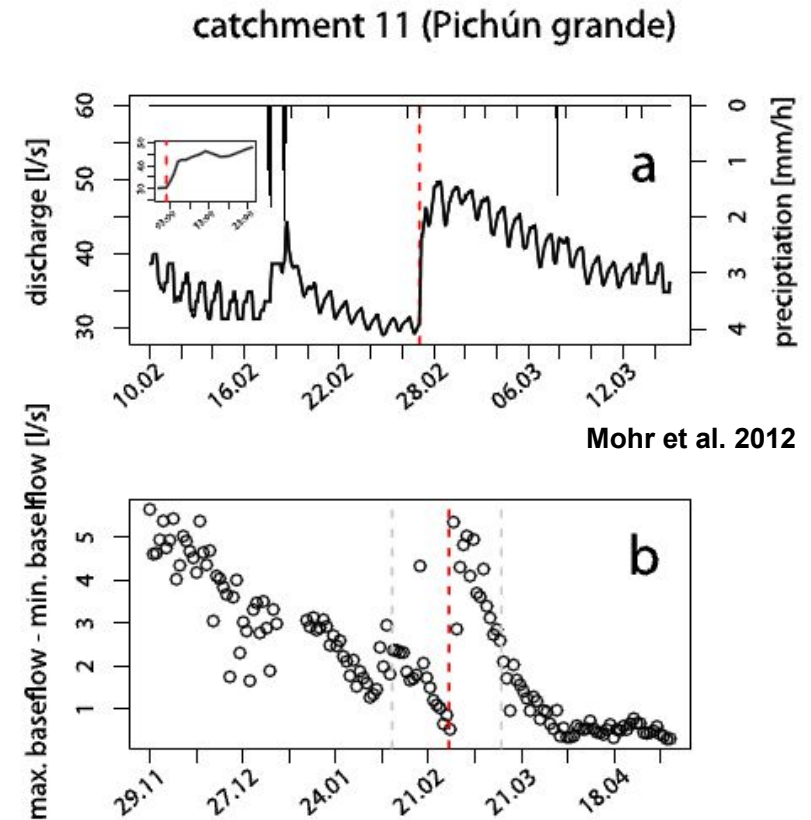


The decline of field studies in the streamflow generation literature, 1930-present. Data source: Web of Science. (Burt et al. 2015)

- **Décadas de investigación sobre cuencas de bosques experimentales:**
- **Modelos conceptuales** (Andréassian 2004, Brown et al. 2005, Moore et al., 2005, Iroumé y Palacios, 2013):
  - Rendimiento anual y estacional del agua.
  - Cambios en la ET y los Q peak según el tipo de cubierta.
  - Cambios en los procesos de R y Q.
- **Se ha informado ampliamente, que la forestación reduce los Q, disminución anual y estacional** (Andréassian et al., 2004, Silveira et al., 2016).
- **$P = Q + EVT$  o  $Q = P - EVT$**

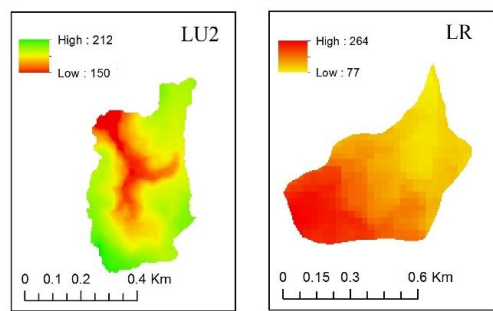
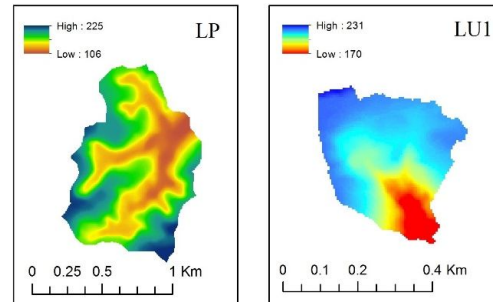
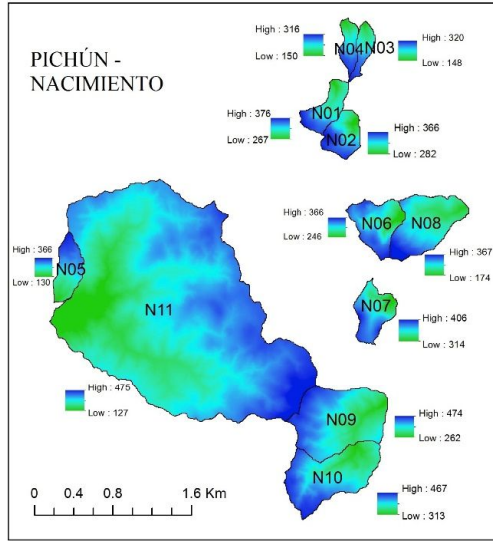


- **Se ha intentando modificar estos modelos, integrando**
  - Funciones de la variabilidad climática (Burt et al. 2015)
  - Sísmicos (Mohr et al. 2012)
  - Almacenamiento (Sayama et al. 2011, McDonnell, 2013, Liu et al., 2016)
- **Pocos estudios se han referido al almacenamiento**
  - Heterogeneidad superficial y sub-superficial
  - Base de datos robusta
- **Sin embargo la innovación de los métodos y de los estudios (isotopos  $\delta^{18}O$  y  $\delta^2H$ ).**
  - Información sobre qué compartimentos del suelo están suministrando agua a diferentes especies arbóreas (Hervé-Fernández et al., 2016)



- En este estudio definimos **dVmax** como la cantidad de agua disponible en el suelo y probablemente en función de factores topográficos, geológicos, climáticos y de manejo forestal.
- Nuestras preguntas de investigación fueron:
  - (i) ¿Es posible estimar el almacenamiento máximo de agua en cuencas localizadas en zonas hidroclimáticas contrastantes y con diferentes características topográficas, geológicas y de tipo de suelo?
  - (ii) ¿cuáles son los factores que controlan el almacenamiento dinámico en las cuencas?





# Área de estudio

**Área** = 0.07 – 4.11 km<sup>2</sup>

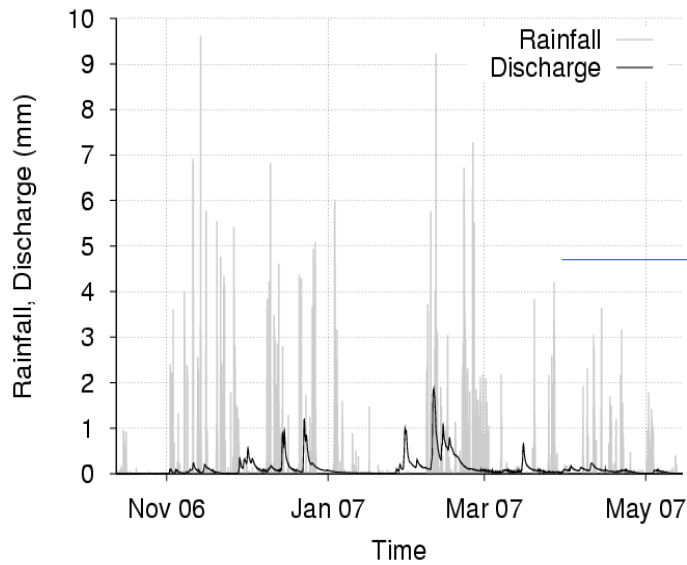
**Uso de suelo** = Forestal

**Tipos de especie** = *Eucalyptus spp.* y *Pinus radiata*

**Clima** = Mediterráneo subtropical (1,150 mm)

**Clima** = Templado lluvioso (1,566 y 3,201 mm)





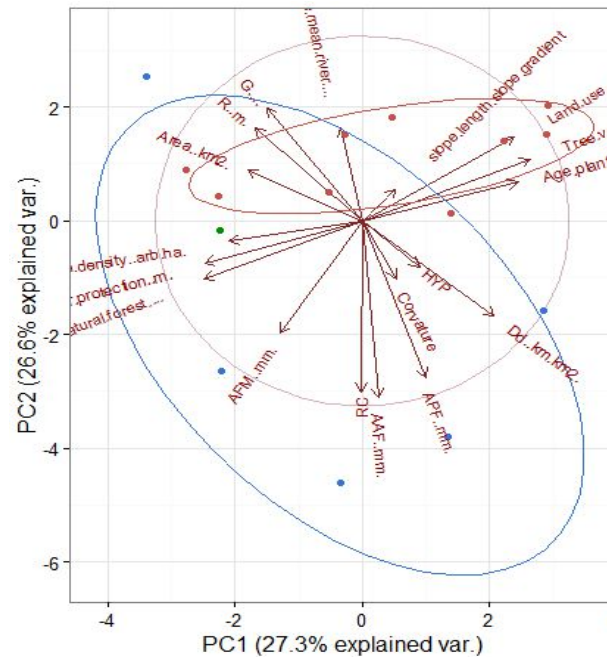
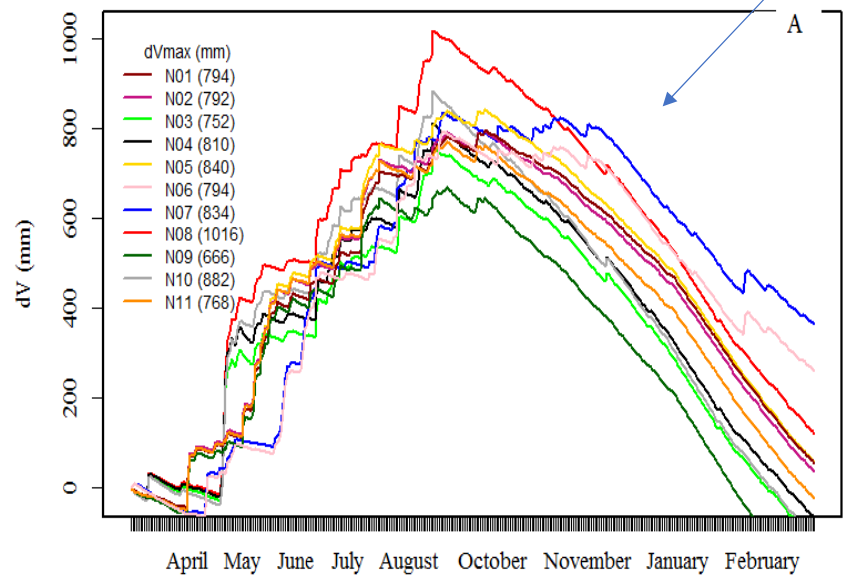
## Metodología

$$dV(t) = \sum_{t=1}^t (R(t) - Q(t) - E(t))$$

Fórmula de balance hídrico a nivel **diario**

$$ET_0 = 0,0135 (t_{med} + 17,78) R_s$$

Hargreaves y Samani, (1985)

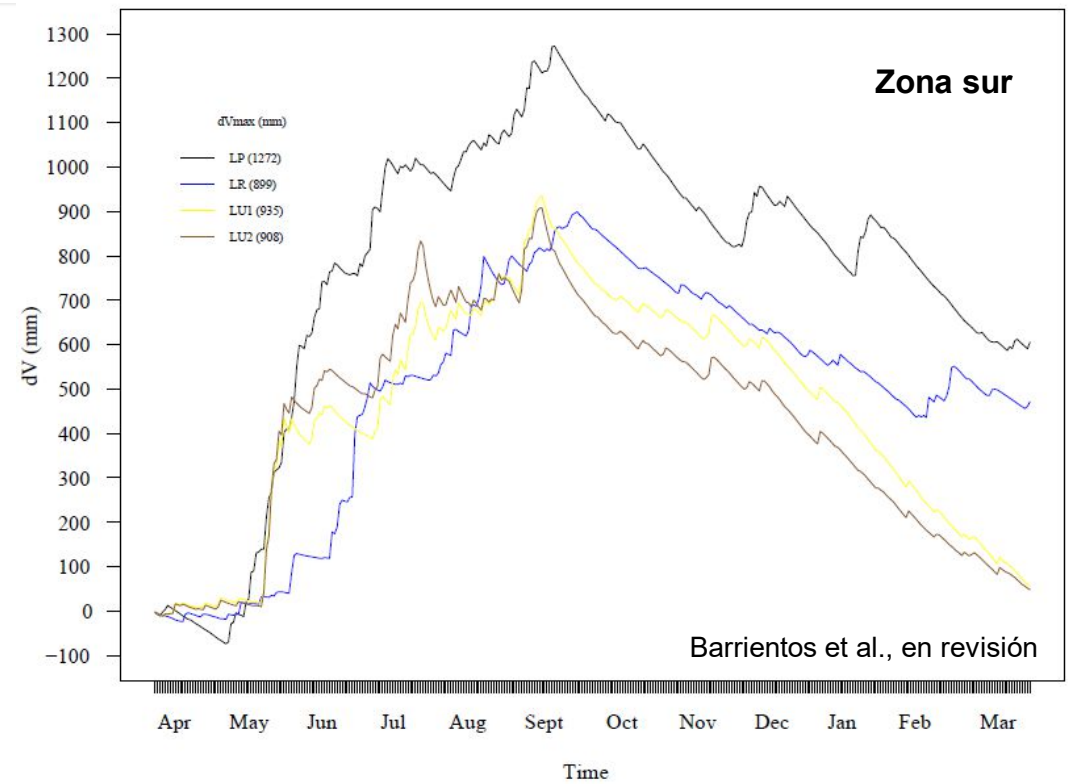
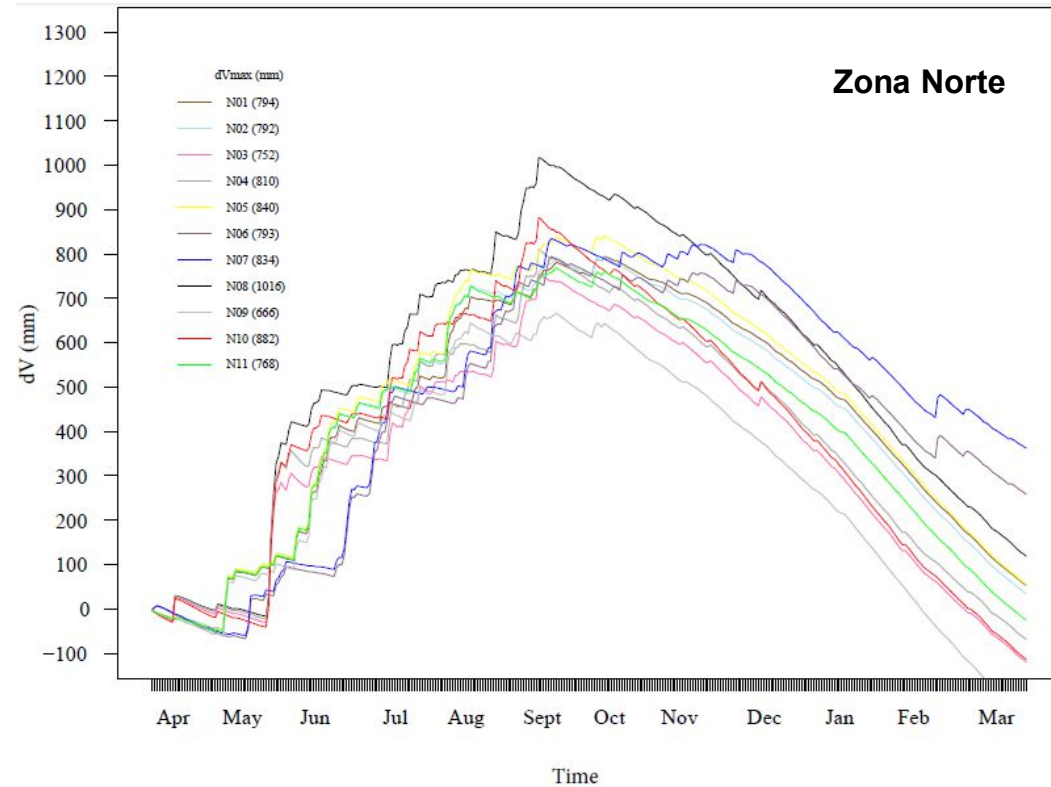


Se examinó la relación entre dVmax y las características del manejo forestal y geomorfológicas.

- PCA
- GLM MODEL Gamma

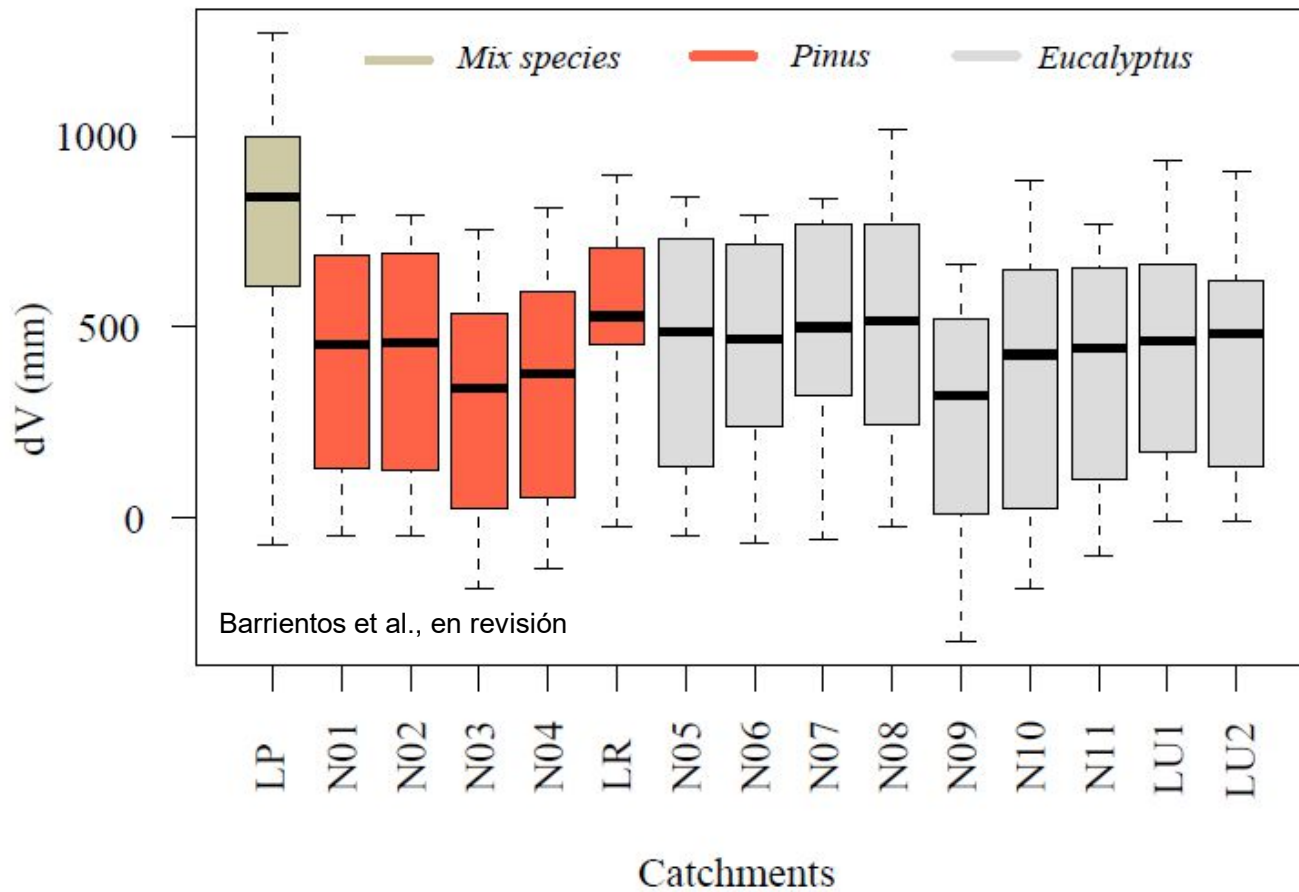


## Resultados, Comportamiento general de la tendencia del almacenamiento



- El almacenamiento disminuyó desde el inicio del año hidrológico, y este escenario se mantuvo hasta que aparecieron las primeras lluvias.
- Una vez comenzado el período lluvioso, en general de finales de abril a julio, dependiendo de la zona de estudio, el almacenamiento aumentó alcanzando valores máximos entre 666 y 1.272 mm

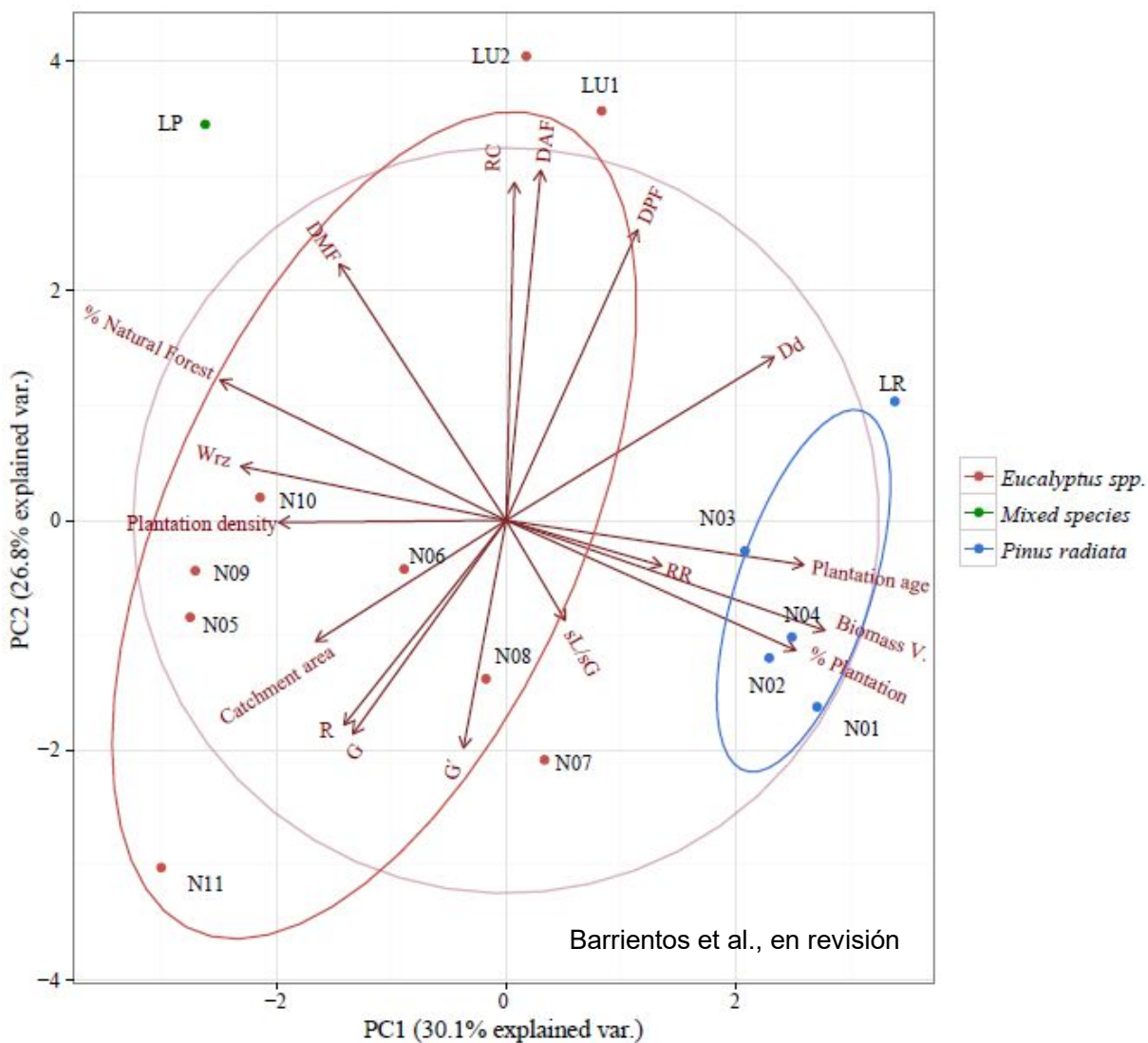
## Variabilidad temporal del almacenamiento (Kruskal-Wallis, $p < 0.05$ )



- ***Pinus radiata***: Similar entre N01 y N02, Diferente entre N03, N04 y LR
- ***Eucalyptus spp.***: Diferente entre N08 y N09, que al mismo tiempo fueron diferentes con N05, N06, N07 y N11. Por otro lado, la variabilidad temporal del almacenamiento fue significativamente similar entre N05, N06, N07, N10 y N11.



# PCA multivariable y modelo GLM



Variable	Estimate	std.	Error	t value	p-value
Slope (G)	6.46		1.263	5.11	0.006
Average gradient channel (G')	-1.173		0.541	-2.16	0.09
sL/sG	1.707		1.410	1.21	0.29
Roughness (RR)	-0.665		0.445	-1.49	0.20
<b>Biomass Volume</b>	0.486		0.148	3.27	<b>0.03*</b>
Plantation Density	-0.005		0.001	-4.16	<b>0.01*</b>
Catchment area with plantations	0.0001		0.0001	0.95	0.39
Catchment area with natural forest	0.013		0.013	0.95	0.39
Plantation Age	0.012		0.013	0.88	0.42
Width of the riparian zone	0.040		0.016	2.41	0.07
	0.006		0.002	-2.90	<b>0.04*</b>

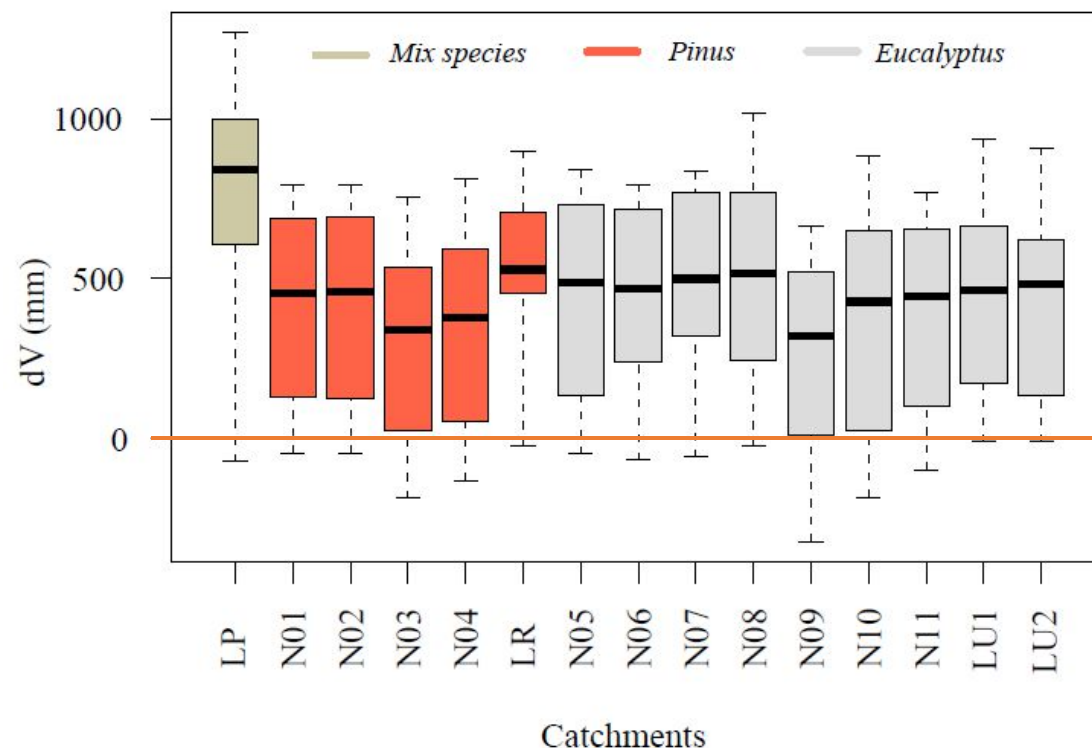
\* p-value ≤ 0.05; \*\*AIC: 160.9; Null deviance: 0.33; Residual deviance: 0.011

- PCA explica el 74% de la varianza dVmax
  - PC1: Volumen, edad, % plantación.
  - PC2: G, G', RR, RC, DAF,
- Elipses agrupadas:
  - *Pinus radiata*: Variables de manejo.
  - *Mixed species*: Variables hidrométricas
  - *Eucalyptus spp.*: Variables morfológicas y de manejo
- GLM, explica el 96% de la varianza dVmax
  - 11% explicado por rugosidad
  - 40% explicado por volumen de biomasa y ancho ribereño.

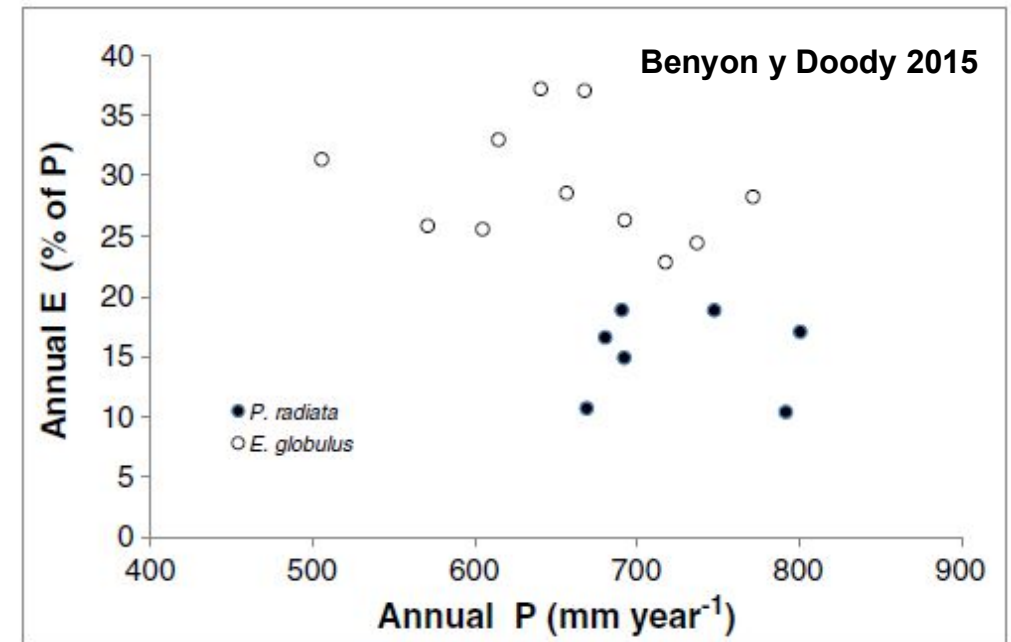


## Discusión

- Nuestras cuencas almacenan cantidades significativas de **R**, en comparación con otras observaciones (Sidle et al., 2000, McDonnell, 2009, Sayama et al., 2011, Staudinger et al. 2017), donde **dVmax** estuvo entre 200 y 500 mm.
- El **dVmax** aumento acorde a las primeras lluvias, logrando el dVmax en la estación húmeda. La cantidad de **R** necesaria para obtener un **dV** positivo bordea los 10 - 60 milímetros.
- El almacenamiento negativo al comienzo y al final, puede estar asociado a la evapotranspiración potencial, lo que puede conducir a una sobreestimación de la pérdida de agua.
- Sin embargo, en contraste con los estudios anteriores, encontramos correlaciones bajas con la topografía y la geología, pero relaciones significativas con el volumen de biomasa, la rugosidad y el ancho de la zona ribereña.



- ***Pinus radiata***: El dVmax se registró en los suelos de cenizas volcánicas (cuenca LR); alta capacidad de retención de agua y alta permeabilidad (Broquen et al., 2000, Neris et al., 2015) en comparación con los suelos arcillosos. Posee 350 (Árbol/ha) y 340 (m<sup>3</sup>/ha)
- ***Eucalyptus spp.***: El dVmax se registró en los suelos arcillosos (N08) con una densidad de plantación (567 Árbol/ha) y volumen de biomasa (150 m<sup>3</sup>/ha) menor que el resto de sus pares.
- ***Mixed species***: El dVmax se registró en la cuenca LP (1272 mm), tipo de suelo rojo arcilloso, 200 (Árbol/ha) y 100 (m<sup>3</sup>/ha) siendo las más bajas comparadas al resto de las cuencas.
- Estudios del efecto de las plantaciones en el recurso hídrico indican que *Pinus radiata* tiene una capacidad de evapotranspiración menor que *Eucalyptus spp.*, mantenimiento de las reservas de agua del suelo.



El aumento de las condiciones meteorológicas, intensificará la evapotranspiración, disminuyendo las reservas de agua del suelo.

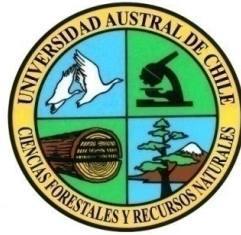
- GLM, las diferencias encontradas en el almacenamiento máximo en las cuencas con *Pinus radiata*, *Eucalyptus spp.* y *especies mixtas* están centradas dentro de un rango de factores tales como **rugosidad (RR)**, **volumen de biomasa** y **ancho de la zona ribereña**.
  - Una mayor rugosidad reduce la velocidad de los flujos y el efecto se incorpora en términos de mayor almacenamiento (Candela et al., 2005)
  - Cuando las plantaciones tienen menor volumen, se dispone de una mayor cantidad de agua en las cuencas (Muñoz et al., 2005)
  - Mientras que la zona ribereña se comporta como zonas de amortiguación hidrológicas (Tiwari et al., 2016).



# Conclusión

- Este estudio utilizó el registro hidrométrico de quince arroyos de cuencas forestales de Chile por más de 7 años, para contribuir a la comprensión del almacenamiento dinámico de agua que juega un papel importante en el manejo de los bosques.
- A pesar de reconocer la complejidad de los procesos, nuestros resultados muestran que cada cuenca estudiada almacena diferentes cantidades de agua (dVmax), variando entre 666 - 1272 mm de precipitación.
- Se explica a través de las condiciones del suelo y las condiciones climáticas, se observa un comportamiento homogéneo del almacenamiento máximo en términos de distribución espacial, respondiendo a los eventos de precipitación.
- Las cuencas con bajo volumen de plantación almacenan más agua que las cuencas con un alto volumen de plantación.
- La respuesta puede estar relacionada con la capacidad de interceptación y transpiración de los árboles, contribuyendo a un mayor almacenamiento del subsuelo en una cubierta forestal menos densa.
- Este patrón espacial y temporal de almacenamiento desempeña un papel importante en el manejo de la captación forestal en relación a la generación de agua.





# Almacenamiento de agua en el suelo según tipo de cubierta forestal, topografía y geología en microcuencas del centro-sur de Chile.

Barrientos et al., en revisión (Hydrological Processes)

**Guillermo Barrientos, Andrés Iroumé**

2017



**INFOR**  
INSTITUTO FORESTAL  
*Creciendo para el futuro, pensando en Chile*

**Plantaciones Forestales en el nuevo Ciclo de Desarrollo Forestal**