



## EFFECTO DE LA VEGETACIÓN EN LA INTERCEPCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN LA PRECORDILLERA DE LA REGIÓN DEL MAULE, CHILE

### EFFECT OF VEGETATION ON PRECIPITATION INTERCEPTION IN THE ANDEAN FOOTHILLS OF THE MAULE REGION, CHILE

O. S. Vallejos-Barra<sup>1</sup>; R. M. Pizarro-Tapia<sup>2</sup>; M. A. Vásquez Sandoval<sup>3</sup>; F. J. Balocchi-Contreras<sup>4</sup>; C. M. Morales-Calderón<sup>4</sup>; L. León-Gutiérrez<sup>4</sup> y L. P. Vega-Torres<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Forestal, Dr. Profesor asistente de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca. 2 Norte 685, Talca, Chile. Correo-e: ovallejo@utalca.cl

<sup>2</sup>Ingeniero Forestal, DR. Profesor asociado de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca. 2 Norte 685, Talca, Chile. Correo-e: rpizarro@utalca.cl

<sup>3</sup>Ingeniero Civil en Industrias Forestales, M. Sc. Profesora asistente de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca. 2 Norte 685, Talca, Chile. Correo-e: mvasquez@utalca.cl

<sup>4</sup>Ingenieros Forestales, asistentes de investigación, Universidad de Talca. 2 Norte 685, Talca, Chile.

#### RESUMEN

En este estudio se comparó el comportamiento de un bosque secundario de Roble-Hualo, donde las especies predominantes son *Nothofagus obliqua* y *Nothofagus glauca* y una plantación de *Pinus radiata* D. Don de 12 años de edad, en el proceso precipitación - intercepción. El estudio se desarrolló en la Estación Experimental El Picazo, comuna de San Clemente, Región del Maule, Chile, entre el mes de julio de 2007 a julio de 2008, en dos microcuencas vecinas de dimensiones reducidas con condiciones similares de suelo, exposición y pendiente pero que diferían en la cobertura vegetal. Se caracterizó la vegetación de cada microcuenca y se establecieron indicadores de densidad de parcela. Los indicadores de la cobertura nativa superaron ampliamente a los de las coberturas exóticas. Para registrar la precipitación se instalaron dos pluviómetros del tipo Hobo en cada microcuenca. Equidistante de ellas se ubicó otro pluviógrafo sin cobertura vegetal. Se registraron 21 tormentas caracterizando temporal y espacialmente el comportamiento de la precipitación abierta y bajo dosel. Los resultados indican que pese a tener diferencias numéricas las coberturas vegetales, éstas no se transforman en diferencias estadísticamente significativas. Además se observó que la intercepción depende en mayor medida de la arquitectura de copa, distribución espacial de los árboles y tipo de hojas, que de la cantidad de árboles por parcela.

Recibido: 28 de marzo, 2010  
Aceptado: 24 de mayo, 2010  
doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.03.012  
<http://www.chapingo.mx/revistas>

**PALABRAS CLAVE:** Balance hídrico, cobertura vegetal, región del Maule.

#### ABSTRACT

This study compared the behavior of an Oak-Hualo secondary forest, where the dominant species are *Nothofagus obliqua* and *Nothofagus glauca*, with that of a 12-year-old *Pinus radiata* D. Don plantation in the precipitation-interception process. The study was conducted at the El Picazo Experimental Station in the town of San Clemente, Maule region, between July 2007 and July 2008 in two neighboring small-scale sub-watersheds with similar soil, exposure and slope conditions, but with different vegetation covers. The vegetation of each watershed was characterized and the plot density indicators obtained. The native cover indicators greatly surpassed those of the exotic covers. To record precipitation, two Hobo rain gauges were placed in each sub-watershed. Equidistant from these, another rain gauge was set up without vegetation cover. In total, 21 storms were recorded, characterizing temporally and spatially open and under-canopy precipitation behavior. The results indicate that although the vegetation covers have numerical differences, these do not translate into statistically significant differences. In addition, it was found that interception depends more on crown architecture, spatial distribution of the trees and type of leaves than on the number of trees per plot.

**KEY WORDS:** Water balance, vegetation cover, Maule region

## INTRODUCCIÓN

En la zona centro-sur de Chile ha aumentado la superficie de plantaciones con especies de rápido crecimiento. De esta manera, surgen interrogantes como ¿Cuál es el impacto de las plantaciones sobre el ciclo hidrológico (Shibuya, 1983; Manubag, 1985; Sharda, 1988; Huber y López, 1993). Muchos autores coinciden en señalar que el principal efecto que tienen las plantaciones forestales sobre el balance hídrico, es la cantidad de precipitación que es retenida por el dosel (intercepción) y que, por lo tanto, una porción importante del recurso hídrico, deja de participar en la economía ambiental de estos ecosistemas (Feller, 1981; Calder, 1998; Huber y Trecaman, 2000; Putuhena y Cordery, 2000 y Huber e Iroumé, 2001). Sin embargo, Pizarro *et al.* (2005) en la cuenca del río Purapel, estudiando los hidrogramas de cada hora de un registro de 40 años, determinaron que en la zona costera de la Región del Maule no existen diferencias en el comportamiento hidrológico del bosque secundario y de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. Esta situación se verificó sobre zonas semiáridas costeras de la Región del Maule, entonces, ¿Qué ocurriría en localidades con una mayor oferta de agua?

Por ello, en este estudio se busca establecer cuantitativamente y bajo situaciones físicas y metodológicas comparables, cuál es el comportamiento diferencial de la intercepción del agua de lluvia, de los bosques nativos andinos y de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. Se pretende determinar en análisis individuales de diversas tormentas, cómo se comporta el proceso precipitación-intercepción en los dos tipos de vegetación que caracterizan a cada una de las microcuencas.

## METODOLOGÍA

**Antecedentes de la zona de estudio:** En la Estación Experimental El Picazo perteneciente a la Universidad de Talca, emplazada en la precordillera<sup>1</sup> andina de la región del Maule, Chile, fueron seleccionadas dos microcuencas de aproximadamente 4 hectáreas, con diferente cobertura vegetal (Figura 1). La cobertura nativa corresponde a un bosque secundario del tipo forestal Roble Hualo, donde las especies predominantes son *Nothofagus obliqua* y *Nothofagus glauca*, en tanto la exótica corresponde a una plantación de *Pinus radiata* D. Don con 12 años de edad.

El clima de la zona es del tipo templado cálido, conocido como mediterráneo, con lluvias invernales y estación seca prolongada. Las temperaturas máximas en verano oscilan entre los 23 y 27 °C. La precipitación se produce entre los meses de mayo y septiembre, variando

<sup>1</sup>En Chile se presentan grandes unidades geográficas, siendo éstas las planicies litorales, la Cordillera de la Costa, la depresión intermedia y la Cordillera de los Andes. Entre la depresión intermedia y la Cordillera de los Andes, se presenta la precordillera, que corresponde a cadenas montañosas de menor elevación. La zona de estudio de esta investigación se encontraba a 520 m, mientras que la Cordillera de los Andes en la Región alcanza los 3.800 m.

## INTRODUCTION

In south-central Chile, the area taken up by plantations with fast-growing species has increased. Thus, questions such as the following arise: what is the impact of the plantations on the hydrological cycle (Shibuya, 1983; Manubag, 1985; Sharda, 1988; Huber and López, 1993)? Many authors agree that the main effect that forest plantations have on the water balance is the amount of precipitation retained by the canopy (interception) and, therefore, a significant proportion of the water resource continues to participate in the environmental economics of these ecosystems (Feller, 1981; Calder, 1998; Huber and Trecaman, 2000; Putuhena and Cordery, 2000; and Huber and Iroumé, 2001). However, Pizarro *et al.* (2005), by studying the hourly hydrographs recorded over a 40-year period in the Purapel River Basin, found that there are no differences in the Maule Region's coastal zone in terms of the hydrological behavior of the secondary forest compared with that of the *Pinus radiata* D. Don plantations. This situation was verified in semi-arid coastal areas in the Maule region, thus raising another question: what would occur in areas with a greater supply of water?

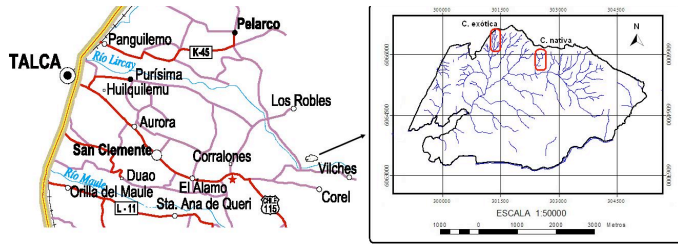
Therefore, this study seeks to establish quantitatively and under comparable physical and methodological conditions what the differential behavior of rainfall interception is in native Andean forests and *Pinus radiata* D. Don plantations. It aims to determine by individual analysis of several storms how the precipitation-interception process behaves in the two types of vegetation that characterize each of the sub-watersheds.

## METHODOLOGY

**Background of the study area:** At the El Picazo Experimental Station, belonging to the University of Talca and located in the Andean foothills<sup>1</sup> in the Maule region of Chile, two approximately 4-hectare sub-watersheds, with different vegetation cover, were selected (Figure 1). Native cover corresponds to a secondary Oak-Haulo forest, where the dominant species are *Nothofagus obliqua* and *Nothofagus glauca*, while the exotic one corresponds to a 12-year-old *Pinus radiata* D. Don plantation.

The local climate is warm temperate, known as Mediterranean, with rainy winters and a long dry season. Maximum summer temperatures range from 23 to 27 °C. Precipitation occurs between May and September, ranging between 1,000 and 1,200 mm per year. According to the Köppen classification system, the climate in the sector corresponds to cool temperate, with winter rainfall and mean annual rainfall of 1,072 mm (Errázuriz, 1987).

<sup>1</sup>Chile is made up of large geographic units, these being the coastal plains, the coastal mountain range, the central depression and the Andes mountain range. Between the central depression and the Andes mountain range are the foothills, which are lower-elevation mountain ranges. The study area for this research was located at an elevation of 520 m, while the Andes mountain range reaches 3,800 m.



**FIGURA 1.** Mapa de ubicación de la Estación Experimental El Picazo y ubicación de las microcuencas con cobertura exótica y nativa.

**FIGURE 1.** Map showing the location of both the El Picazo Experimental Station and the sub-watersheds with exotic and native cover.

entre los 1,000 y 1,200 mm anuales. Según la clasificación de Köppen, el clima del sector corresponde a templado frío, con lluvias invernales y la precipitación media anual llega a los 1,072 mm (Errázuriz, 1987).

**Caracterización de las microcuencas:** Se establecieron dos parcelas de 100 m<sup>2</sup> en cada microcuenca, donde se determinó la localización de cada árbol y se midieron los diámetros a la altura del pecho y de la copa, además la altura total y de copa de cada árbol. Para proceder a la caracterización se calculó el índice de Reineke (IDR) por parcela, el área y el volumen de copa circunscrito a la proyección de la parcela, para lo cual se utilizó el programa Stand Visualization System 3.36. El IDR permite comparar las densidades de las parcelas, ya que este índice calcula el número de árboles por parcela con un diámetro cuadrático medio de 25 cm. Mientras mayor sea el índice, más densa es la parcela.

**Registro de la precipitación:** La precipitación fue registrada de manera continua con cinco pluviógrafos del tipo Hobo. La extracción de datos se realizó cada 15 días. Uno de los pluviógrafos se localizó entre las microcuencas seleccionadas y no presentaba cobertura vegetal. Dos pluviógrafos fueron instalados en la microcuenca con cobertura nativa (Figura 2a y 2b) y los otros dos en la microcuenca con cobertura exótica (Figura 2c y 2d).

Se registró la precipitación desde el mes de julio del año 2007 hasta el mismo mes del año 2008. El análisis de datos se realizó por tormenta, obteniendo el monto total de precipitación y la intensidad promedio y máxima por hora. Si el registro entre una y otra precipitación era de al menos 12 horas se consideraron como tormentas independientes.

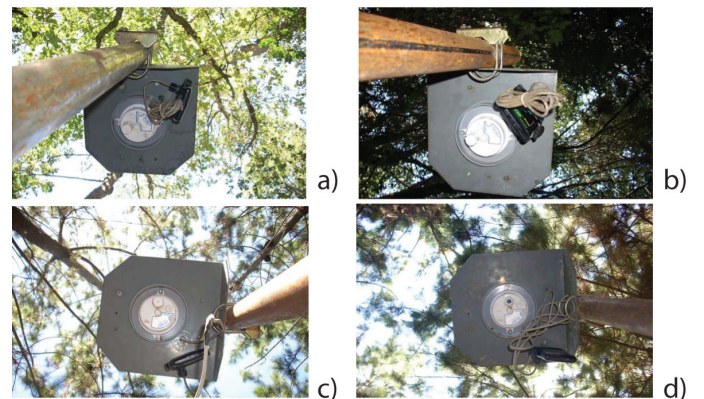
Se utilizó el programa Statgraphics Centurion XV.I para evidenciar si existieron diferencias significativas en la interceptación de agua según la cobertura vegetal. Se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis (análisis de varianza no paramétrico) al monto total de precipitación a la intensidad promedio y máxima por hora. Debido a la gran variabilidad de los datos no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las coberturas, de modo que

**Characterization of the sub-watersheds:** Two 100 m<sup>2</sup> plots were established in each watershed, in which the location of each tree was determined and its diameter at both chest and canopy height was measured, plus the total and crown height of each tree. To proceed with the characterization, the Reineke's Stand Density Index (RSDI) was calculated per plot, as was the area and canopy volume limited to the projection of the plot, which was done using the Stand Visualization System 3.36 program. The RSDI enabled comparing the plot densities, since this index calculates the number of trees per plot with a quadratic mean diameter of 25 cm. The higher the index, the denser the plot.

**Rainfall recording:** Precipitation was recorded continuously with five Hobo rain gauges. Data extraction was performed every 15 days. One gauge was located between the selected watersheds and had no vegetation cover. Two rain gauges were placed in the sub-watershed with native cover (Figure 2a and 2b) and two others in the sub-watershed with exotic cover (Figure 2c and 2d).

Precipitation was recorded from July 2007 to the same month in 2008. Data analysis was carried out by storm, obtaining the total rainfall amount and the average and maximum intensity per hour. If the rainfalls were at least 12 hours apart, they were considered as separate storms.

The Statgraphics Centurion XV.I program was used to determine whether there were significant differences in the interception of water by vegetation cover. The Kruskal-Wallis test (nonparametric ANOVA) was applied to the total amount of precipitation and the average and maximum intensity per hour. Due to the high variability of the data, no statistically significant differences were detected between the covers, so the interception percentage variable (1) was generated, which showed statistically significant differences being found by the multiple range test described by Conover (1999).



**FIGURA 2.** Vista inferior de los pluviógrafos a) cobertura nativa1, b) cobertura nativa2, c) cobertura exótica1 y d) cobertura exótica2.

**FIGURE 2.** Bottom view of the rain gauges a) native1 cover, b) native2 cover, c) exotic1 cover and d) exotic2 cover

se generó la variable intercepción porcentual (1), la cual mostró diferencias estadísticamente significativas siendo comprobadas por la prueba de rangos múltiples descritas por Conover (1999).

$$\text{Intercepción porcentual}_i = \frac{(\text{Máxima precipitación tormenta}_i - \text{Precipitación tormenta}_i)}{\text{Máxima precipitación tormenta}_i}$$

Para una tormenta "i" asociados a cada pluviógrafo, se presentaban cinco valores de montos de precipitación. En teoría, la máxima precipitación por tormenta se presentaría en el pluviógrafo sin cobertura vegetal, de modo que su intercepción porcentual sería nula. En cambio, en los restantes pluviógrafos la precipitación de la tormenta sería menor por la intercepción de cada cobertura vegetal.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presenta la información obtenida en las cuatro parcelas, donde se observa que la cobertura nativa tiene un menor desarrollo en diámetro y altura que la cobertura exótica, a nivel de cada árbol.

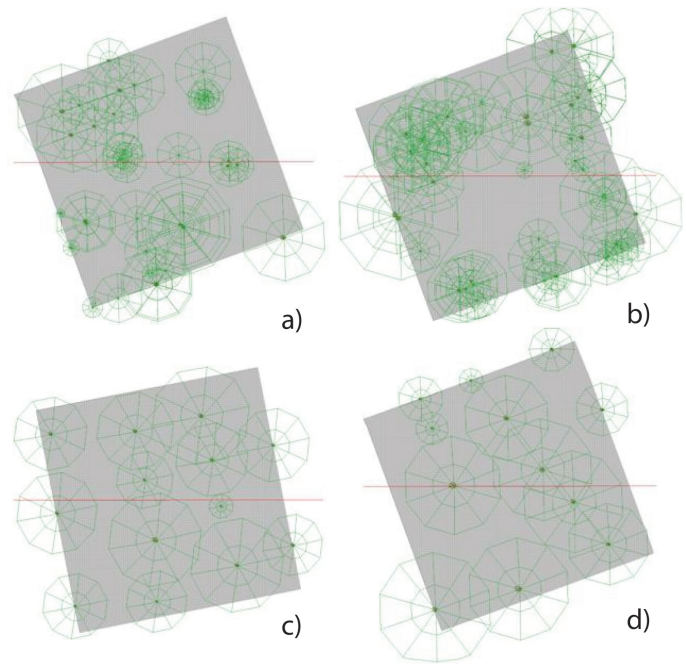
**CUADRO 1. Resumen de variables medidas en terreno e indicadores de densidad por parcela según cobertura vegetal.**

**TABLE 1. Summary of variables measured in the field and density indicators per plot based on vegetation cover.**

Cobertura vegetal	Núm. árboles	Promedio			Parcela		
		DAP	Diámetro de copa	Altura	Área	Volumen	IDR
		(cm)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )	
nativa1	40	9.1	2.8	4.9	9.4	267.6	253.8
nativa2	53	8.7	3.0	4.6	12.6	328.9	276.6
exótica1	13	12.5	3.6	7.8	4.6	107.4	216.4
exótica2	12	16.8	3.6	7.8	7.2	113.6	242.4

El mayor número de árboles de las coberturas nativas da origen a indicadores de densidad superiores a las coberturas exóticas, de modo que se podría pensar de manera anticipada que las coberturas nativas tienen mayor potencial de intercepción del agua de lluvias. Por ejemplo, la cobertura con mayor área de copa, 328.8 m<sup>2</sup>, es la cobertura nativa2, lo cual haría pensar que la parcela que mide 100 m<sup>2</sup> está tres veces cubierta por la vegetación nativa. Sin embargo, las Figuras 3a y 3b muestran la distribución de los árboles de la cobertura nativa, donde se aprecia gran superposición de copa, lo cual ocurre de forma menos evidente en las coberturas exóticas (Figura 3c y 3d). Además, hay que agregar que en las coberturas nativa1 y nativa2 se presenta un 33 y 5 % respectivamente, de árboles de hoja caduca (*Nothofagus glauca*), de modo que en otoño e invierno disminuye la capacidad de intercepción del agua de lluvia.

En el Cuadro 2 se presentan los datos de las 21 tormentas consideradas en el periodo de estudio. A partir de la octava tormenta no hubo captura de datos en el



**FIGURA 3. Distribución de los árboles y sus copas en las coberturas a) nativa1, b) nativa2, c) exótica1 y d) exótica2.**

**FIGURA 3. Distribución de los árboles y sus copas en las coberturas a) nativa1, b) nativa2, c) exótica1 y d) exótica2.**

$$\text{Interception Percentage}_i = \frac{(\text{Maximum storm precipitation}_i - \text{Storm precipitation}_i)}{\text{Maximum storm precipitation}_i} \quad (1)$$

For a storm "i" associated with each gauge, five rainfall amounts were presented. In theory, maximum precipitation per storm would be presented in the rain gauge without vegetation cover, so that its interception percentage would be zero. In contrast, storm precipitation in the remaining rain gauges would be reduced by the interception of each vegetation cover.

## RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 presents the information obtained in the four plots, showing that the native cover is less developed in diameter and height than the exotic cover at the level of each tree.

The higher number of trees in the native covers gives rise to density indicators greater than those in the exotic covers, so that one could logically predict that the native covers have greater potential to intercept rainwater. For example, the cover with greatest crown area, 328.8 m<sup>2</sup>, is the native2 cover, which would make one think that the plot measuring 100 m<sup>2</sup> is covered three times by native vegetation. However, Figures 3a and 3b show the tree distribution in the native cover, where there is a large crown overlap, which occurs to a lesser degree in the exotic covers (Figure 3c and 3d). In addition, it must be added that native1 and

**Cuadro 2. Precipitación total e intensidad promedio y máxima en una hora de cada tormenta por tipo de cobertura.**

**Table 2. Total precipitation and average and maximum hourly intensity for each storm by type of cover.**

Tormenta	Fecha de inicio	Precipitación total					Intensidad promedio					Intensidad máxima en 1 hora				
		Sin Cobertura	Nativa		Exótica		Sin Cobertura	Nativa		Exótica		Sin Cobertura	Nativa		Exótica	
			1	2	1	2		1	2	1	2		1	2	1	2
		(mm)					(mm hr <sup>-1</sup> )					(mm hr <sup>-1</sup> )				
1	08/08/2007	35.4	18.0	16.8	25.8	23.6	0.9	1.0	0.4	0.7	0.6	8.0	6.8	5.7	8.9	4.4
2	12/08/2007	6.2	3.4	3.2	6.8	5.6	1.2	0.6	0.6	1.6	1.6	2.4	1.4	1.1	3.1	2.7
3	13/08/2007	84.4	81.2	63.6	72.8	69.2	1.6	1.3	1.1	1.1	1.7	33.4	18.8	17.8	31.7	48.4
4	23/08/2007	6.8	4.8	3.8	6.0	3.6	1.0	1.0	0.3	0.4	1.4	18.8	12.1	11.1	12.0	4.0
5	03/09/2007	19.2	21.8	14.8	19.0	14.0	1.9	1.8	1.5	1.5	1.1	6.7	6.3	6.1	6.7	5.5
6	19/09/2007	5.2	1.8	2.4	6.0	3.4	1.5	0.4	0.8	1.7	0.9	22.5	1.5	3.9	19.2	2.5
7	19/10/2007	21.4	18.2	13.2	12.2	6.0	1.5	1.1	0.8	0.8	0.4	6.0	3.9	3.8	8.6	9.5
8	07/03/2008	6.8	2.8	5.0	3.2	0.6	1.7	0.8	1.2	1.0	0.2	14.4	4.0	12.5	9.3	1.0
9	11/04/2008		28.2	35.4	38.2	33.4		1.8	1.3	1.5	0.6		6.9	11.0	14.8	11.2
10	27/04/2008		14.8	17.6	18.0	13.4		2.0	2.2	1.7	1.8		5.3	5.9	5.5	4.5
11	28/04/2008		11.0	10.8	12.4	9.2		0.9	1.0	0.8	0.9		6.6	8.9	16.3	6.7
12	17/05/2008		90.0	52.4	128.8	93.8		0.9	0.5	1.1	0.7		12.5	8.0	30.4	7.8
13	23/05/2008		9.6	1.8	16.4	6.8		0.4	0.0	18.7	0.0		0.7	0.1	57.0	0.1
14	18/06/2008		31.2	32.0	35.4	27.2		1.2	1.1	1.3	1.0		8.7	8.7	6.8	6.0
15	04/07/2008		2.6	4.2	6.6	4.4		4.4	6.3	5.4	7.9		4.8	6.4	10.0	8.6
16	05/07/2008		35.0	36.8	35.0	30.2		0.9	0.8	0.9	1.6		6.3	6.2	4.5	4.9
17	12/07/2008		16.8	18.8	17.6	15.8		0.9	1.3	1.3	1.1		5.9	6.4	8.6	8.6
18	16/07/2008		44.8	46.0	4.6	39.8		4.4	4.3	1.1	3.8		14.2	13.1	5.0	9.7
19	22/07/2008		15.0	13.6	13.0	11.6		1.2	1.2	1.0	0.9		23.8	27.5	30.5	22.3
20	23/07/2008		13.2	8.8	12.4	2.4		0.8	0.3	0.7	0.1		5.4	8.3	7.0	13.1
21	19/09/2008		3.0	4.2	2.8	1.4		0.3	0.5	0.3	0.2		0.8	1.9	0.8	0.6
Promedio																
Tormenta 1 – 8		23.2	19.0	15.4	19.0	15.8	1.4	1.0	0.8	1.1	1.0	14.0	6.9	7.8	12.4	9.8
Tormenta 1 – 21		22.2	19.3	23.5	19.8		1.3	1.3	2.1	1.4		7.5	8.3	14.1	8.7	

pluviógrafo sin cobertura vegetal ya que sufrió desperfectos por la acción de terceras personas. La lógica indica que el pluviógrafo sin cobertura vegetal debería presentar la mayor precipitación total, seguido de los restantes pluviógrafos, ordenados de manera inversa considerando los indicadores de densidad. Un pluviógrafo situado en una cobertura con un mayor indicador de densidad debería registrar menos precipitación, ya que los árboles interceptan la precipitación de manera más eficiente que coberturas menos densas.

De manera global se confirmó la lógica, es así que el pluviógrafo sin cobertura vegetal presentó el valor promedio máximo en precipitación total, en intensidad promedio y en intensidad máxima en una hora. La cobertura exótica1 que tiene el menor indicador de densidad y por lo tanto el menor grado de intercepción, presentó el valor máximo para las tres variables hidrológicas consideradas. Respecto a la cobertura nativa2 que exhibe los mayores indicadores de densidad presentó el mayor grado de intercepción, ya que observa la menor precipitación total y la menor intensidad máxima, no así la intensidad máxima en una hora, donde su valor es intermedio.

La cobertura exótica2 y nativa1 evidenciaron valores promedios intermedios para las tres variables hidrológicas en estudio. La excepción se presenta en la intensidad máxima en una hora donde el valor mínimo lo alcanza la cobertura nativa1.

Para los pluviógrafos con cobertura vegetal es posible

2 covers have 33 and 5 %, respectively, deciduous trees (*Nothofagus glauca*), so that there is a reduced ability to intercept rainwater in autumn and winter.

Table 2 shows data from 21 storms monitored in the study period. From the eighth storm onwards, no rainwater was collected in the gauge without vegetation cover as it was damaged by the actions of third parties. Logic dictates that the gauge without vegetation cover should present the highest rainfall total, followed by the remaining rain gauges in reverse order based on the density indicators. A rain gauge located in a cover with a higher density indicator should record less precipitation since the trees intercept precipitation more efficiently than less dense covers.

Overall, the logic was confirmed, as the gauge without vegetation cover presented the highest value in average total rainfall, average intensity and maximum intensity in an hour. The exotic1 cover, which has the lowest density indicator and therefore the lowest degree of interception, presented the maximum value for the three hydrological variables considered. Regarding the native2 cover, which exhibits the highest density indicators, it presented the highest degree of interception, as it had the lowest total rainfall and the lowest maximum intensity, but not the lowest maximum intensity in an hour, where its value is moderate.

The exotic2 and native1 covers showed intermediate mean values for the three hydrological variables under study. The exception is for maximum intensity in an hour

indicar que la cobertura exótica1, que presenta el mayor valor global de precipitación, tuvo un 62 % de las tormentas con valores máximos de precipitación total. Incluso en tres ocasiones superó el registro del pluviógrafo sin cobertura vegetal, cuya posible explicación resulta del “efecto embudo”, debido a la conformación de las copas y a la distribución del rodal, en donde, las precipitaciones entran con mayor facilidad al instrumento de medición sin una mayor interceptación. La cobertura nativa2, que presenta el menor valor global de precipitación, solo en 24 % de las tormentas presentó valores mínimos de precipitación total.

No se detectaron diferencias estadísticamente significativas para la precipitación total e intensidad promedio y máxima, con lo cual se podría ratificar lo indicado por Pizarro *et al.* (2005) y Komatsu *et al.* (2009) en el sentido de que no existirían diferencias estadísticas en el comportamiento hidrológico de cuencas con especies latifoliadas y coníferas.

Para disminuir la variabilidad de los datos se calculó la interceptación porcentual asociada a cada cobertura, considerando las primeras ocho tormentas y todas las tormentas. La prueba de Kruskal-Wallis evidenció diferencias estadísticas altamente significativas de la interceptación porcentual considerando todos los pluviógrafos y también para aquellos con cobertura vegetal. Este resultado se contrapone a lo obtenido por Komatsu *et al.* (2008) donde la tasa de interceptación entre especies coníferas y latifoliadas prácticamente no presenta variación.

La representación gráfica de la prueba de rangos múltiples sugerida por Conover (1999) para datos no paramétricos se presenta en la Figura 4. Queda de manifiesto la semejanza en las gráficas de la Figura 4, lo cual hace pensar que si el pluviógrafo sin cobertura vegetal hubiese registrado igual cantidad de tormentas que los restantes pluviógrafos se habría tenido una situación muy similar a la Figura 4a. Los valores de interceptación calculados para la plantación, coinciden con los obtenidos por Huber *et al.* (2008)

La interceptación del pluviógrafo sin cobertura vegetal es prácticamente nula y presenta diferencias estadísticamente significativas con las restantes coberturas vegetales, a excepción de la cobertura exótica1, que presentó los menores indicadores de densidad. Las coberturas nativas presentaron diferencias numéricas entre ellas, pero éstas no se transformaron en diferencias estadísticamente significativas.

Al considerar los pluviógrafos con cobertura vegetal, el menor valor de la interceptación porcentual corresponde a la cobertura exótica1; sin embargo, el mayor valor corresponde a la cobertura exótica2, el cual no presenta los mayores indicadores de densidad. Esto pone de manifiesto que la interceptación depende en mayor medida de la arquitectura de copa, distribución espacial de los árboles y

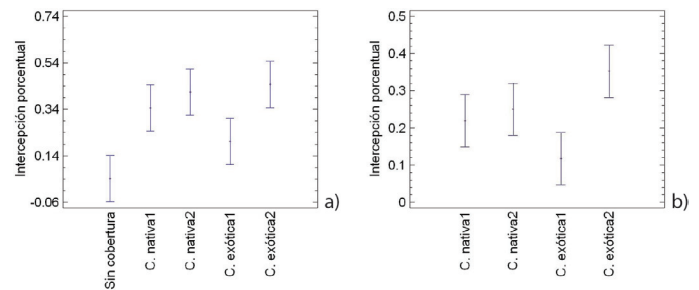


FIGURA 4. Representación gráfica de la prueba de rangos múltiples a) todas las coberturas y b) coberturas con vegetación.

FIGURE 4. Graphical representation of the multiple range test a) all covers and b) vegetation covers.

where the native1 cover has the minimum value.

For the gauges with vegetation cover, it may be stated that the exotic1 cover, which has the highest overall precipitation value, had 62 % of the storms with maximum total rainfall values. On three occasions it even surpassed the rainfall measurement of the rain gauge without vegetation cover, possibly as a result of the so-called “funnel effect”, which is due to the formation of the crowns and the distribution of the stand, in which precipitation enters the measuring device with greater ease but without greater interception. The native2 cover, which presents the lowest overall rainfall value, had minimum total rainfall values in only 24 % of the storms.

No statistically significant differences were found for total precipitation and average and maximum intensity, which could ratify the findings reported by Pizarro *et al.* (2005) and Komatsu *et al.* (2009) in the sense that there would be no statistical differences in the hydrologic behavior of watersheds with broadleaved and coniferous species.

To reduce the variability of the data, the interception percentage associated with each cover was calculated, considering the first eight storms and all the storms. The Kruskal-Wallis test showed highly significant statistical differences in the interception percentage, considering all the rain gauges, including those with vegetation cover. This result is in contrast to that obtained by Komatsu *et al.* (2008) where the interception rate between coniferous and broadleaved species showed no variation.

The graphical representation of the multiple range test suggested by Conover (1999) for nonparametric data is presented in Figure 4. The similarity in the Figure 4 graphs is evident, which suggests that if the gauge without vegetation cover had recorded the same number of storms as the other gauges, it would have had a situation very similar to Figure 4a. The interception values calculated for the plantation coincide with those obtained by Huber *et al.* (2008).

The interception of the gauge without vegetation cover is practically zero and presents statistically significant differences with the remaining vegetation covers, except for the exotic1 cover, which showed the lowest density in-

tipo de hojas que de la cantidad de árboles. Sin embargo, Iroume y Huber (2002) indican que la intercepción está más asociada al patrón de concentración de precipitaciones y otras condiciones meteorológicas, que a la cantidad de árboles y las características de sus copas.

Al considerar todas las coberturas analizadas, no se presentan diferencias estadísticas para la precipitación entre las coberturas vegetales analizadas en esta investigación. Este resultado es coincidente al presentado por Pizarro *et al.* (2005), de modo que un factor importante a considerar en futuros estudios, es cómo se comporta la precipitación en su forma y distribución dentro de las mismas microcuencas. Esto se menciona debido a que, en general, todas las tormentas se comportaron de distinta manera, tanto en sus montos, intensidades y duraciones, no siguiendo un patrón en sus resultados esperados, como sería una notoria mayor cantidad de lluvia en la parcela exterior y una menor precipitación en las parcelas con cobertura de acuerdo a sus factores morfológicos-espaciales (volumen, altura y densidad).

Así también, se recomienda aumentar el tiempo de estudio, además incrementar la cantidad de pluviógrafos para evitar así resultados con un cierto error esperable, por el aún bajo número de tormentas y el posible error de los aparatos de medición.

Finalmente, la influencia fustal, la humedad del suelo y la evapotranspiración total resultarían variables importantes de analizar en la intercepción de la precipitación, por lo que se recomienda tomar en cuenta estos factores a la hora de analizar el comportamiento de la lluvia y de la masa boscosa.

---

### CONCLUSIONES

La cobertura exótica1, que presenta los menores indicadores de densidad tiene el menor valor promedio de intercepción porcentual, que corresponde al 20 % de la precipitación.

Las coberturas nativas no presentaron diferencias estadísticamente significativas en la intercepción porcentual promedio, 35 y 41 %. Estas coberturas presentan los mayores indicadores de densidad, sin embargo, la intercepción porcentual, se encuentra en rangos intermedios.

El mayor valor de intercepción corresponde a la cobertura exótica2 con un 45 %, Sin embargo, esta cobertura no presenta los mayores indicadores de densidad.

---

### LITERATURA CITADA

- CALDER, I. 1998. Water use by forests, limits and controls. *Tree Physiology* 18: 625-631.
- CONOVER, W. 1999. *Practical nonparametric statistics*. Tercera edición,

dicators. The native covers showed numerical differences among them, but these did not translate into statistically significant differences.

As for the gauges with vegetation cover, the lowest interception percentage value corresponds to the exotic1 cover; however, the highest value corresponds to the exotic2 cover, which does not show the highest density indicators. This shows that interception depends in greater measure on crown architecture, spatial distribution of the trees and type of leaves than on the number of trees. However, Iroume and Huber (2002) indicate that interception is more associated with the pattern of rainfall concentration and other meteorological conditions than the quantity of trees and the characteristics of their crowns.

In considering all the covers analyzed, there are no statistical differences for precipitation among the vegetation covers analyzed in this research. This result is consistent with that reported by Pizarro *et al.* (2005); hence, an important factor to take into account in future studies is how precipitation behaves in its form and distribution within the same watersheds. This is mentioned because, in general, all the storms behaved differently, in terms of their precipitation amount, intensity and duration, as opposed to following a pattern in their expected results, such as would be the case with a significantly greater amount of rain in the open plot and lower rainfall in the plots with cover based on their morphological-spatial factors (volume, height and density).

Thus, it is also recommended to increase the study period, plus increase the number of rain gauges to thereby avoid a certain degree of expected error in the results due to the still-low number of storms and possible errors with the measuring devices.

Finally, trunk influence, soil moisture and total evapotranspiration would be important variables to analyze in the interception of precipitation. Therefore, it is recommended to take these factors into account when analyzing the behavior of rain and forest mass.

---

### CONCLUSIONS

The exotic1 cover, which has the lowest density indicators, has the lowest interception percentage average, which corresponds to 20 % of the precipitation.

Native covers did not present statistically significant differences in the interception percentage average, at 35 and 41 % respectively. These covers have the highest density indicators; however, the interception percentage falls within intermediate ranges.

The highest interception value corresponds to the exotic2 cover, with 45 %. However, this cover does not have the highest density indicators.

*End of English Version*

- New York: John Wiley & Sons Inc., 584 p.
- ERRÁZURIZ, A. 1987. Manual de geografía de Chile. Editorial Andrés Bello. Santiago. Chile. 415 p.
- FELLER, M. 1981. Water balance in *Eucalyptus regnans*, *E. oblicua*, y *Pinus radiata* forest in Victoria. Australian Forestry 44 (3): 153-161.
- HUBER, A.; IROUMÉ, A. 2001. Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile. Journal of Hydrology 248(1-4): 78-92.
- HUBER, A.; IROUMÉ, A.; BATHURST, J. 2008. Effect of *Pinus radiata* plantations on water balance in Chile. Hydrol. Process 22: 142-148.
- HUBER, A.; LÓPEZ, D. 1993. Cambios en el balance hídrico provocados por la tala rasa de un rodal adulto de *Pinus radiata* D. Don, Valdivia, Chile. Bosque 14(2): 11-18.
- HUBER, A.; TRECAMAN, R. 2000 El efecto de las características de una plantación de *Pinus radiata* en la distribución espacial del contenido de agua edáfica. Bosque 21 (1): 37-44.
- IROUMÉ, A.; HUBER, A. 2002. Comparison of interception losses in a broadleaved native forest and a *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir) plantation in the Andes Mountains of southern Chile. Hydrol. Process. 16, 2347-2361
- KOMATSU, H.; KUME, T.; OTSUKI, K. 2009. Changes in low flow with the conversion of a coniferous plantation to a broad-leaved forest in a summer precipitation region, Japan. Ecohydrology 2(2): 164-172.
- KOMATSU, H.; SHINOHARA, Y.; KUME, T.; OTSUKI, K. 2008. Relationship between annual rainfall and interception ratio for forests across Japan. Forest Ecology and Management 256 (5): 1189-1197.
- MANUBAG, J. 1985. Rainfall interception, surface runoff and sedimentation of dipterocarp stand, mixed forest and grassland at the Central Mindanao University forest reservation. Journal of agriculture. Food and Nutrition 7(1): 43-54.
- PIZARRO, R.; SANTIBAÑEZ, F.; BENÍTEZ, A.; JORDÁN, C.; FARIAS, C. 2005. Influencia de las masas boscosas en el régimen hídrico de una cuenca sub húmeda, Chile. Ingeniería Hidráulica en México 20(3): 7-20.
- PUTUHENA, W; CORDERY, I. 2000. Some hydrological effects of changing forest cover from eucalypts to *pinus radiata*. Agricultural and Forest Meteorology 100(1): 59 – 72.
- SHARDA, V. 1988. Hydrological behaviour of the Nilgiri sub-watersheds as affected by bluegum plantations, part II, monthly water balances at different rainfall and runoff probabilities. Journal of Hydrology 103(3-4): 347-355.
- SHIBUYA, K. 1983. Researches on the change in rainfall-runoff relation after converting woodland into pasture in the Kitami mountainous area. Technical report of the National Research Institute of Agriculture Engineering 1: 1-25. Japón.