

Forestry in Argentina: The use of needle length as a site quality indicator in young ponderosa pine plantations in northern Patagonia.

by

Margaret A. McAndrews

A THESIS

submitted to

Oregon State University

in partial fulfillment of the requirements for the degree of

Bachelor of Arts in International Studies in Forest Management

Presented on May 24, 1999
Commencement June 13, 1999

AN ABSTRACT OF THE THESIS OF

Margaret A. McAndrews for the degree of Bachelors of Arts in International Studies in Forestry presented on May 24, 1999. Title: Forestry in Argentina: The use of needle length as a site quality predictor in young ponderosa pine plantations in the province of Neuquén, Argentina.

Redacted for privacy

Abstract approved: _____

Dr. Doug Maguire

Needle length in young ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws var. *ponderosa*) was assessed for its ability to estimate site quality of afforested land in Neuquén, Argentina. The objective was to determine the best aspect on the tree, number of needle age classes, and number of trees that would best predict top height in these plantations at age 20. Needles were sampled from thirty subplots representative of the geographical and productivity range of this species. On the fifth whorl of each sample tree, random groups of 10 fascicles were collected from various trees, aspects, and age classes and measured for average needle length. Total height, height to the first and sixth whorls above breast height and diameter at breast height were measured on each sample tree. Weighted simple linear regression models quantified the relationship between needle length and top height of the stand at 20 years, with top height specified as the mean height of four possible stand components. Mean needle lengths were computed as plot-level means for each age class-aspect combination as well as plot-level means for 2- to 5-consecutive years by aspect. To assess for the necessity of sampling from a fixed aspect, the null hypothesis of no differences between aspects was tested on a plantation-, plot-, and tree-level. Only the current year's needle lengths had a significant differences in needle lengths (NL) between NW and SE aspects. The stand component representing

the 100-most dominant stems per hectare by diameter was selected for the final model because on average this dimension was more reliably predicted. Because precipitation is thought to have an effect on needle length, and because precipitation fluctuates widely between years, it is advisable to measure as many age classes of needles as possible to obtain accurate estimates of potential site productivity.

Bachelor of Arts in International Studies in Forest Management
Thesis of Margaret A. McAndrews
Presented on May 24, 1999

Approved: 
Redacted for privacy

Dr. Doug Maguire (Forest Resources)

Redacted for privacy

Dr. Jack Walstad (Department Head, Forest Resources)

Redacted for privacy

Dr. Patrick Hayes, Director, International Degree Program

Redacted for privacy

Dr. Hector Gonda, Field Advisor

I understand that my thesis will become part of the collection of Oregon State University. My signature below authorizes release of my thesis to any reader upon request. I also affirm that the work represented in this Thesis is my own work.

Redacted for privacy

Margaret A. McAndrews

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank the International Degree program and the College of Forestry at Oregon State University for providing me with such incredible opportunities and experiences. I thank CIEFAP, the organization with whom I worked with in Argentina for all of their support during my adjustment and stay. I would also like to thank all of the members of CIEFAP for their friendship during my stay in Esquel. Many thanks to Dr. Doug Maguire, my international degree advisor, for his endless editing and mentoring of each edition of this paper. I would like to thank Hector Gonda for his friendship, advising and understanding throughout my time in Argentina. Many thanks to Gustavo Cheuque and Nazareno Gonzalez who diligently climbed the sample trees, even in the worst of conditions! I thank Andrea Herling from the International Degree Program for her constant encouragement throughout the process. I thank those who helped me with the spanish translation especially Kayla Garcia, Eladio Cornejo-Oviedo, David Manaute, Mario Magaña and Gabrie Martino for all their precious time and effort put forth in the editing of the third chapter. I thank Bonnie Avery for her assistance in researching forestry in Argentina. I thank those who helped me understand the statistical analysis, especially Sean Canavan and Ryan Singleton.

Thanks to my loving parents, Rose and Marty, and my four wonderful sisters, Joanne, Mary, Amy and Beth for their constant support. I thank all of my caring friends who have been supportive and patient with me through these past few months of writing and editing. And thanks to John for being so supportive and committed to my success.

TABLE OF CONTENTS

CHAPTER 1: INTRODUCTION

EXOTIC PLANTATION FORESTRY IN PATAGONIA, ARGENTINA.....1

The importance of ponderosa pine in Argentina.....	1
Ecological Similarities between western United States and Patagonia,Argentina.....	2
Plantation Objectives and Silvicultural Practices in Patagonia.....	3
Land Ownership in Patagonia.....	5
References.....	6

CHAPTER 2:

NEEDLE LENGTH AS INDEX OF SITE QUALITY IN PONDEROSA PINE PLANTATIONS IN NEUQUEN, ARGENTINA.....8

INTRODUCTION.....	9
Previous Work.....	11
METHODS.....	14
Plots.....	14
Measurements.....	17
Analysis.....	20
RESULTS.....	21
Number of Years Measured.....	21
One hundred dominant versus 200-dominant stems per hectare.....	22
Branch Aspect.....	22
Prediction Equations.....	23

TABLE OF CONTENTS (continued)

DISCUSSION.....	27
References.....	31
CHAPTER 3: SPANISH VERSION: Versión en español	
EL USO DE LA LONGITUD DE ACICULAS COMO UNA PREDICCIÓN DEL INDICE DE SITIO EN PLANTACIONES JOVENES DE PINO PONDEROSA EL LA PROVINCIA DE NEUQUEN, ARGENTINA.....	33
INTRODUCCION.....	34
Revisión de literatura.....	36
METODOS.....	40
Parcelas.....	40
Mediciones.....	43
Análisis.....	46
RESULTADOS.....	47
Número de años medidos.....	47
Cien-fustes dominantes versus 200-fustes dominantes por hectárea.....	48
Aspecto de Rama.....	49
Ecuaciones de predicciones.....	52
DISCUSSION.....	53
Referencias.....	58
CHAPTER 4: CONCLUSIONS.....	59
CONCLUSION.....	60
BIBLIOGRAPHY.....	63

LIST OF FIGURES AND TABLES

- Figure 2.1.** A map of Neuquén Province, Argentina with the location of all permanent plots (.) and the subset of 30 plots selected for the needle length study (●). Adapted from Gonda (1998).....15
- Table 2.1.** Frequency of 30 measure plots by site class, growth intercept (length of five internodes above dbh), and latitude (south).....16
- Table 2.2.** Range of environmental variables among the 30 needle length study plots and for the 127 original ponderosa plots established in plantations throughout the province of Neuquén, Argentina (adapted from data collected by Gonda et al (1996).....16
- Figure 2.2.** A sketch of a ponderosa pine branch demonstrating the different age classes of foliage measured on five-year-old branches on the 200 largest trees per hectare in Neuquén, Argentina.....17
- Table 2.3.** Coefficient of determination (R^2_g as %) of simple linear regressions between the mean length of needles from all five age classes (NL_5) and top height at 20 years.....22
- Table 2.4.** Coefficientsof Determination for all possible combinations of year and aspect for the stand component representing the 200 most dominant stems per hectare in plantations ranging in age from 18 to 21 years throughout western Neuquén province, Argentina. The values are generalized R^2 values calculated from the weighted parameters with needle length as the explanatory and top height as the response variable.....23
- Table 2.5.** The T-test results for the entire sample size of 330 trees.....24
- Figure 2.3.** The relationship between the average needle length of the four most recent years age classes of foliage and top height at age 20 for the stand component corresponding to the 100 largest trees per hectare by dbh.....27
- Table 2.6.** Relationships among the range of NL and the respective values of the growth intercept index (GII), mean height of the 100 trees per hectare with the largest diameter at breast height at age 20 (D_{100} (age 20)), and the mean annual increment (MAI) of D_{100} (age 20).....28

LIST OF FIGURES AND TABLES (continued)

- Cuadro 3.1.** Frecuencia de las 30 parcelas por índices de sitio por frecuencia de parcelas, intercepción de crecimiento (la longitud de los 5 entrenudos sobre el dap) y la latitud(sur).....41
- Cuadro 3.2.** Rango de las variables ambientales para las 30 parcelas del ensayo de acículas y para las 127 parcelas originales de pino.....41
- Figura 3.1.** Un mapa de la Provincia de Neuquén, Argentina con las ubicaciones de todas las parcelas permanentes (.) y las parcelas elegidas(●) para este ensayo de la longitud de la acícula. Adaptado de Gonda (1998).....42
- Figura 3.2.** Rama de cinco años de edad del pino ponderosa que muestra todas las clases de edades medidas en los 200 árboles dominantes ha⁻¹.....44
- Cuadro 3.3.** Coeficiente de determinación (R^2_g como %) de las regresiones simple lineal entre el promedio de la longitud de las acículas de todas las cinco clases de edades y la altura total.....48
- Cuadro 3.4.** Coeficientes de determinación para todas las combinaciones posibles del año y exposiciones para el componente del rodal que representa los 200-árboles dominantes por hectárea en plantaciones de 18 a 21 años de edad al oeste de la provincia de Neuquén, Argentina. Los valores son R^2 generalizados, calculados de los parámetros compensados con la longitud de la acícula como la variable explicatoria y la altura total como la variable respuesta.....50
- Cuadro 3.5.** Los valores de la prueba t-student de los niveles de la plantación, la parcela, y el árbol.....51
- Figura 3.3.** La relación entre el promedio de la longtiud de la acícula de los 4 últimos años y la altura total a de edad 20 para el componente del rodal que corresponde a los 100 más dominantes por hectarea por dap.....54
- Cuadro 3.6.** Las relaciones entre la variedad de la LA y el promedio de la altura total de edad 20 de los cien árboles por hectarea con los diámetros más gruesos al pecho(D_{100} (edad 20)), y el promedio del incremento annual (MAI) del D_{100} (edad 20).....55

CHAPTER 1: INTRODUCTION

EXOTIC PLANTATION FORESTRY IN PATAGONIA, ARGENTINA

INTRODUCTION

The importance of ponderosa pine in Argentina

Ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws var. *ponderosa*) has been planted extensively throughout Patagonia, Argentina, over the past 30 years. Located on private ranches and provincial lands, these plantations have exhibited high growth rates, many of which are similar to growth rates in Douglas-fir plantations of western Oregon, U.S. For example, on a highly productive site for ponderosa pine in Patagonia, the annual height growth may approach one meter (Gonda 1998).

Historically, the majority of the land where ponderosa pine has been planted was steppe grassland, often overgrazed and suffering from severe erosion (Hoepke 1995; van Konyenburg 1995). One account suggests that the steppe was once a bountiful forests 80 million years ago, prior to the uplifting of the Andes. Native forests of ciprés (*Austrocedrus chilensis*) were intensively burned a century ago to promote sheep raising in Patagonia (Hoepke 1995).

Of the more than 2 million hectares of land suitable for afforestation in northern Patagonia, only 2.6 % has been forested to date (Diaz 1997). The land has been classified according to its suitability to support industrial plantations of species such as ponderosa pine (Colmet Daage 1989, Ferrer et al. 1990, Mendia e Irisarri 1986), with the expected yields predicted to be between 12 and 25 m³ha⁻¹yr⁻¹ of timber at age 35 (Diaz 1997). Recent yield

studies conducted by the Patagonian Andes Forest Research and Extension Center (CIEFAP) demonstrated that in Neuquén the yield would vary between 10 and 20 m³ha⁻¹yr⁻¹ at age 30 and between 20 and 30 m³ha⁻¹yr⁻¹ at age 40 (Gonda 1998).

Afforestation is attractive in Patagonia for several reasons. Planting trees helps stabilize soils that through environmental stresses such as overgrazing have been and continue to be literally carried away by the wind (Hoepke 1995; Marcolin and Fiorio 1995). The management of non-native plantations may reduce the exploitation of native forests (van Konyenburg 1995). Initial investments are lower in Patagonia than in other areas of Argentina as well as other areas of the world, so forestry may help to drive economic development of the region. The location of the plantations allows access to both the Atlantic and Pacific Oceans and markets worldwide. The government has developed afforestation incentive programs to promote investment in Patagonian forestry (Diaz 1997).

Ecological Similarities between the western United States and Patagonia, Argentina

One of the reasons why ponderosa pine grows well in Patagonia is that there are some important environmental similarities between this region and the Pacific Northwest (Gonda 1998):

1. The latitudinal range is similar for the Patagonian Andes and the Sierra Nevada and Cascades—approximately 42° to 48° south and north, respectively.
2. The Andes and Cascades have similar geological origins.

3. The mountain ranges create similar rainshadow effects for Patagonia, Eastern Oregon, and Northern California.
4. Both areas have Mediterranean climates consisting of wet winters and dry summers.

Relatively little is known about long-term productivity and economic benefits of ponderosa pine plantations in Patagonia. Limited research has been conducted because the plantations and their management have only recently been developed in Patagonia. In the next 20 years, however, many more data will be available as the plantations approach the projected rotation age of 30 to 45 years (Gonda 1998) and as further research fills the information gap.

Plantation Objectives and Silvicultural Practices in Patagonia

The main objective of planting fast-growing conifers is to improve the socioeconomic development of the Patagonian Andes. The two traditional ranching activities – raising sheep and cattle – are not nearly as profitable as they were a few decades ago. Furthermore, a recent purchase of 900,000 ha by Benetton in Patagonia has dramatically shifted the source of wool production from traditional ranching activities to a single, large corporation. Establishing industrial plantation forests has the potential to provide the region with important income and job opportunities.

Since the region has a small population and is far away from domestic markets and ocean ports, the quality of timber should be high to make this enterprise economically profitable. Thus, pruning and thinning are highly recommended on these plantations as means of maximizing wood quality. From observation thus far, ponderosa pine in Argentina

does not self prune before age 40 (Gonda 1998). Pruning is being practiced more and more as a means of decreasing the knottiness of the wood produced. It also reduces fuel loads and ladder fuels (from dead branches), thereby protecting the plantations from devastating fires. Most of the plantations are located in an area where fire hazard is high.

In the past five years, thinning trials have been conducted on various plantations throughout Neuquén. Free thinning has been performed in a research context to provide a sample by which the productivity, stand basal area, volume, and mean annual increment could be assessed (Kovalyk et. al. 1995). A density study was installed in northern and central Neuquén to determine the best combination of initial spacing and thinning intensity. Thirty-six potential stand density regimes will be measured periodically for their effect on dbh, height, and other tree and stand attributes, with the goal of identifying optimum regimes (Tarifa et. al. 1995).

In another study at Abra Ancha in Northern Neuquén, plots were thinned to two different densities, 500 and 300 trees per ha, to assess response of stand development to thinning (unpublished data collected by CIEFAP 1995). A recent visit to Abra Ancha demonstrated that on the most heavily thinned plot, more light penetrated to the forest floor, accelerating decomposition of foliar litter. Understory vegetation and tree regeneration were present, and current annual increment increased in the last two growing seasons (personal communication, Cesar Cuevas).

Forestry Corporation of Neuquén (Cor.Fo.Ne) manages a tree nursery in northern Patagonia and receives seed from Oregon provenances with ecological and geographic similitudes (Tarifa et. al. 1995). At Abra Ancha, selection of potential seed trees for a seed orchard was based on total volume, stem form, frequency of branches, angle of branch from stem, and diameter of branches of the dominant individuals in the stand (Cortes 1995).

Land ownership in Patagonia

Many ponderosa pine plantations are privately managed and owned. In many cases the owner directly manages his own land, but in others the land owner resides in Europe and employs caretakers to manage the plantations. The province of Neuquén has the highest percentage of publicly-owned non-native plantation forests (Diaz 1997). Managed by Cor.Fo.Ne, the plantations are managed much like an industrial forest with several plantations, tree nurseries, and small saw mills located throughout the province ranging in age from 1 to 25 years.

The next section describes a study to explore alternative methods of predicting site quality in ponderosa pine plantations in northern Patagonia, Argentina. The study was prompted by results from a previous study that found the length of needles to be correlated with rate of top height growth (Gonda 1998). Since the results were promising, this study represents an attempt to confirm and strengthen the quantitative relationship between the length of needles on dominant ponderosa pine trees and stand top height at age 20 in the province of Neuquén, Argentina.

REFERENCES

- Hoepke, E. Algo de historia forestal patagónica. *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo IV. 725-727.
- Colmet Daage F. 1989. Zonificación del potencial forestal de la región Andino Patagónica. INTA-ORSTOM. Buenos Aires. Argentina.
- Cortés, G. O. and G. O. Tarifa. 1995. Metodología de selección de árboles candidatos para la instalación de un huerto semillero de pino ponderosa. *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo III. 636-639.
- Diaz, Arnold. 1997. Forestar en Patagonia. Informe producido para CIEFAP/GTZ/INTA. Esquel, Chubut. Argentina. 14p.
- Ferrer J.A., Irisarri J.A., and J.M. Mendia. 1990. Estudio regional de suelos de la provincia del Neuquén. Volumen 5 . Tomo I. Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires. Argentina.
- Gonda, H. E. 1998. Height-diameter and volume equations, growth intercept and needle length site quality indicators, and yield equations for young ponderosa pine plantations in Neuquén, Patagonia, Argentina. Ph.D. dissertation. Oregon State University. Corvallis, OR. USA. 198p.
- Kovalyk, S., G. Tarifa, H. Farrobo, D. Duboscq y A. Ardito. 1995. Estudio de la estructura y el crecimiento del rodal N° 2 campo Abra Ancha departamento Aluminé (Provincia de Neuquén). *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo III. 643-650.
- Marcolín, A. A. and D. Fiorio. 1995. Aptitud forestal de las tierras de un campo de Lonco-loan (Neuquén). *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo I. 312-317.
- Mendia J. M. and J.A. Irisarri. 1986. Relevamiento de suelos con aptitud forestal en la región occidental de la provincia de Río Negro. Consejo Federal de Inversiones (CFI). Expediente 751. Buenos Aires. Argentina.
- Tarifa, G., D. Duboscq, H. Farrobo, S. Kovalyk y A. Ardito. 1995. Producción de plantas sin repique "Vivero Junín de los Andes". *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo III. 640-642.

- Tarifa, G., D. Duboscq, H. Farrobo, S. Kovalyk y A. Ardito. 1995. Red de ensayo de espaciamientos y raleos campo Nahueve y campo Relem. *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo III. 651-653.
- Tarifa, G, D. Duboscq, H. Farrobo, S. Kovalyk y A. Ardito. 1995. Aprovechamiento de material de raleo en plantaciones de *Pinus ponderosa* y *Pinus contorta* var. *latifolia* mediante la elaboración de postes impregnados en campo Abra Ancha. *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo III. 656-658.
- van Konyenburg, E. 1995. El significado de las especies forestales exóticas en la región Patagónica. *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo III. 733-738.

CHAPTER 2:

NEEDLE LENGTH AS AN INDEX OF SITE QUALITY IN PONDEROSA PINE PLANTATIONS IN NEUQUEN, NORTHERN PATAGONIA, ARGENTINA

INTRODUCTION

Ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws) var. *ponderosa* has been planted extensively throughout Patagonia, Argentina, over the past 30 years. Located on private ranches and provincial lands, these plantations have exhibited high growth rates, many of which are similar to growth rates in Douglas-fir plantations of western Oregon, U.S. For example, on a highly productive site for ponderosa pine in Patagonia, the annual height growth may approach one meter (Gonda 1998).

Ponderosa pine would be expected to grow well in Patagonia given some important environmental similarities between this region and the Pacific Northwest, western United States (Gonda 1998):

1. The latitudinal range is similar for the Patagonian Andes and the Sierra Nevada and Cascades— approximately 42° to 48° south and north, respectively.
2. The Andes and Cascades have similar geological origins.
3. The mountain ranges create similar rainshadow effects for Patagonia, Eastern Oregon, and Northern California.
4. Both areas have Mediterranean climates consisting of wet winters and dry summers.

However, relatively little is known about long-term productivity and economic benefits of ponderosa pine plantations in Patagonia. Limited research has been conducted because the plantations and their management have only recently been introduced in Patagonia. In the next 20 years, however, many more data will be available as the sites

approach the projected rotation age of 30 to 45 years (Gonda 1998) and as further research fills the information gap.

Ponderosa pine plantations can yield higher stockabilities in Patagonia than in its native range in Northern California or Eastern Oregon (Gonda 1998). This higher capacity means higher volume and timber production per hectare in northern Patagonia. Current research focuses on finding effective indices of site quality for new plantations. The growth intercept technique has been found to yield promising results (Gonda 1998), and it has been successfully applied in several different species throughout the United States to quantify site quality (Wakeley and Marrero 1958; Day, Bey, and Rudolph 1960; Oliver 1972; Alban 1979). The length of five internodes above breast height seems to yield the best estimate for potential productivity, in contrast to other numbers and intervals of internodes (Gonda 1998; Oliver 1972; Wakeley and Marrero 1962). In the provinces of Chubut, Río Negro, and Neuquén, the length of the five internodes above breast height was likewise the best interval for predicting future growth (Andenmatten and Letourneau 1996; Gonda 1998). However, this index obviously cannot be applied to plantations that lack five internodes above breast height. An alternative to the growth-intercept method would be extremely useful since, in Patagonia, there are many plantations younger than five years at breast height. Since many plantations lack five internodes above breast height it is difficult to assess site quality of newly afforested land. Previous work has established a correlation between needle length and height at age 20 (Gonda 1998), so the former measure seemed a promising site quality index for very young plantations.

The first objective of this paper was to establish a protocol for estimating mean needle length for a given plantation. This objective involved determining several selection criteria that best predict site index (dominant height at age 20) including:

- 1) the branch aspect (northwest or southeast) that best predicts height growth;
- 2) the sample size of dominant trees required to accurately predict top height (dominants defined by relative diameter at breast height or relative top height); and
- 3) the number of needle age classes that would provide the best height growth prediction.

The second objective was to develop a model to predict site index (dominant height at age 20) from the new needle length index.

Previous Work

Morphological characteristics such as needle length, bud size and length, shoot growth, and leader growth of trees have been associated with tree vigor and growth. The physiological mechanisms controlling these characteristics are complicated but, in general, needle length is positively correlated with bud size, shoot growth, and shoot and bud number. Hence, insight into mechanisms controlling any one of these characteristics lends insight into mechanisms controlling the others.

Squillance and Silen (1962) noted that needle length of ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws) had a positive correlation to total height and thus, was a means of predicting tree growth potential. McDonald et al (1992) demonstrated that needle length on one-year old ponderosa pine seedlings may be a good predictor of future growth.

Kozlowski et. al. (1973) demonstrated that bud length was an index of present seasons' shoot growth in red pine (*Pinus resinosa* Ait.). Competition with other plants will also affect bud characteristics, however. For example, shrub and hardwood competition from the previous and current year reduced the number of buds and overall tree growth on Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii*) seedlings in southwestern Oregon (Harrington and Tappeiner 1991). Similar reductions in bud production on Douglas-fir seedlings were noted by Tappeiner et. al. (1987).

Kozlowki (1963) noted that the year in which buds form is critical to the quantity of shoot growth in the upcoming year in many forest tree species, presumably due to the current year's growth environment. Such observations have prompted analysis of the relationship between needle length and precipitation. Lotan and Zahner (1963) found that precipitation of both the current and previous year affected the current year's needle length in red pine (*Pinus resinosa* Ait.) furthermore, a drought in the current growing season severely reduced needle length. Garrett and Zahner (1973) produced interesting results with respect to needle length on red pine subjected to differing moisture regimes over two seasons. Under dry, mid-season conditions of the previous year, needles were longer but fewer than under ample moisture conditions. Zahner and Stage (1966) developed equations to explain the growth of shoots of any year using deficit moisture rather than empirical data such as precipitation.

The effects of water on tree growth and development have been given much attention in several coniferous and deciduous species in the U.S. Pearson (1918) noted that in western yellow pine (*Pinus ponderosa* var. *scopulorum* Engelm.) precipitation was not abundant

during periods of most rapid tree height growth and, thus, the moisture required for tree growth came primarily from stored sources. Cook (1941) studied five years forest growth while concurrently monitoring precipitation and temperature. His findings emphasized the need for ample precipitation during the previous year for maximizing growth in the current year. In yellow-poplar (*Liriodendron tulipifera* L.), Tryon et.al. (1957) found that the current year's moisture affected tree growth more than other periods studied. Kozlowski (1958) associated height growth with the previous year's precipitation and bud set. Clements (1970) performed studies analyzing the effect of water on shoot growth of red pine and found when water is abundant, needle lengths were longer.

METHODS

Plots

Thirty plots were selected from the 127 permanent plots established by CIEFAP in 1996 throughout the province of Neuquén, Patagonia (Gonda 1998). The thirty plots were representative of the productivity and geographical range of the species in the province of Neuquén (Figure 1, Table 1). On each of the 30 plots, the stand component representing the 200 most dominant trees ha^{-1} were measured for breast height diameter (d) and total height (h).

Sampling was limited to stands with a total age of 18 to 22 years. This group of plantations was split into 3 productivity classes, and plots were selected in a manner that ensured the distribution of each productivity class across the latitudinal range of Neuquén (Figure 1, Table I). A range in elevation and slope was obtained, although the full range in annual precipitation was not fully represented. The annual mean precipitation for the entire 127 plots was 1319 mm, whereas for the 30 plots sampled in for this study it was 836 mm (Table 2). From a practical point of view this is not a serious problem because there is almost no land available for afforestation with average annual rainfall above 1000 mm.

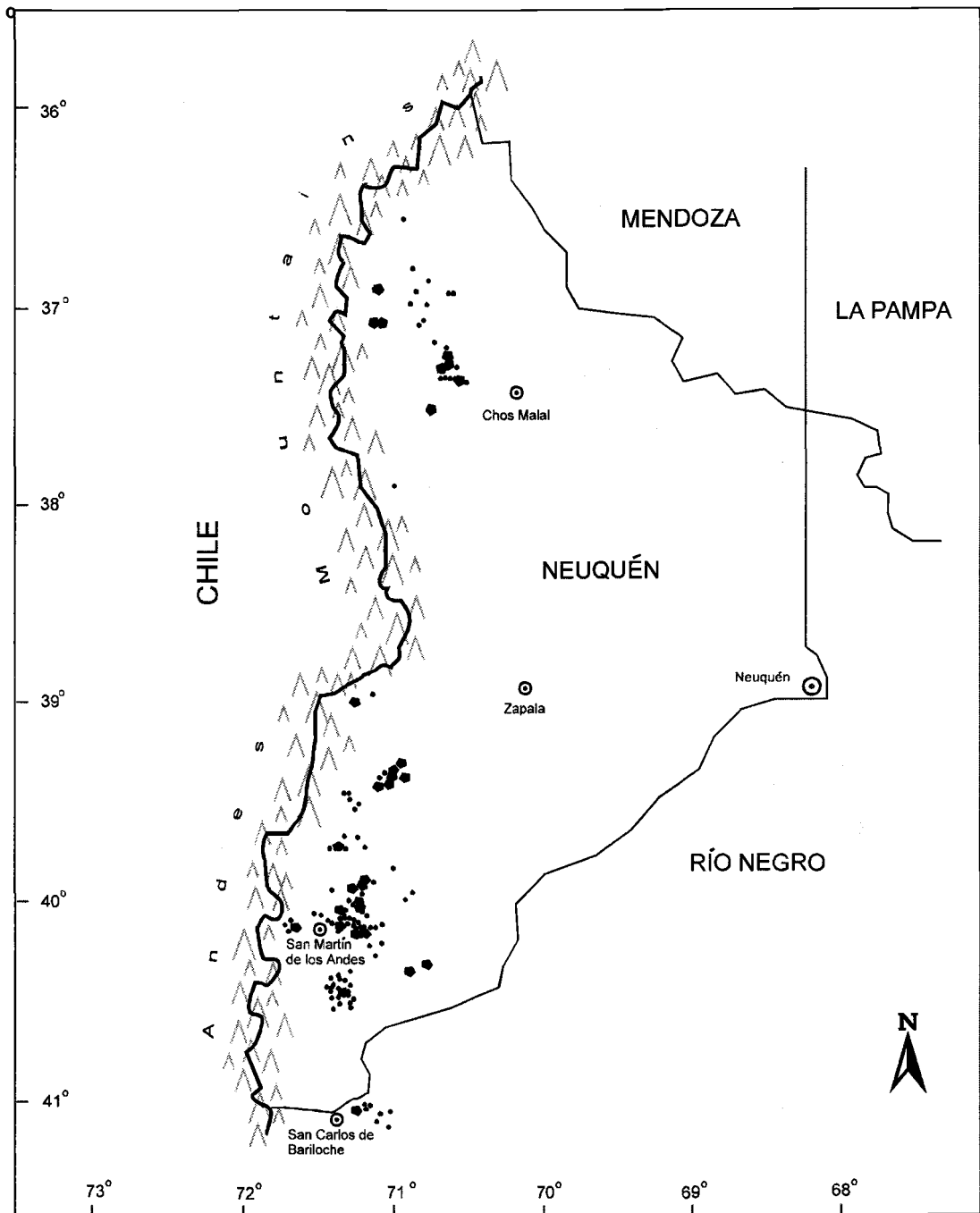


Figure 2.1. A map of Neuquén Province, Argentina with the location of all permanent plots (○) and the subset of 30 plots selected for the needle length study (●). Adapted from Gonda (1998).

Original sample stands were established in unthinned plantations which have no or negligible insect, disease, or storm damage. Some of the plots selected for the study had been pruned. It was assumed that pruning did not affect needle length significantly since the standard procedure consisted of eliminating no more than 1/3 to 1/2 of the live crown.

Table 2.1. Frequency of 30 measure plots by site class, growth intercept (length of five internodes above DBH), and latitude (south).

<i>Site Class</i>	<i>Number of Plots</i>	<i>Growth Intercept Range</i>	<i>Latitudinal Range</i>
I	10	3.93 – 4.72 m	39°18.5' to 40°29.3'
II	13	3.14 – 3.93 m	36°51.3' to 41°3.5'
III	7	2.35 – 3.14 m	37°7.4' to 40°17.7'

Table 2.2. Range of environmental variables among the 30 needle length study plots and for the 127 original ponderosa pine plots established in plantations throughout the province of Neuquén, Argentina (adapted from data collected by Gonda et. al. (1996).

Ranges	Latitude (south)	Longitude (west)	Elevation (m)	Slope (°)	Soil Depth (m)	Precipitation (mm)
30 SELECTED PLOTS						
<u>min:</u>	36°51'57"	70°36'31"	775	0	0.40	400
<u>Mean:</u>	39°27'41"	70°22'54"	1079	10	1.02	836
<u>max:</u>	41°03'36"	71°16'19"	1675	22	1.8	1400
ALL 127 PLOTS						
<u>min:</u>	36°30'00"	70°35'22"	645	0	0.40	400
<u>Mean:</u>	38°47'58"	70°04'18"	1059	8.6	1.00	929
<u>max:</u>	41°05'57"	71°33'15"	1715	30	1.80	2500

Measurements

Needle lengths were measured on the stand component representing the 200 trees per hectare with largest diameter at breast height and the 200 per hectare with tallest heights. Needle lengths were determined on branches selected from the fifth whorl because it was important to measure only needles that have grown in full sunlight. On these trees, the fifth whorl was always in the top 1/3 of the crown, which is generally well lit. Needles seldom remained on the branch after five years, so little would be gained by measuring older branches. Conversely, the whorls above the fifth were too dangerous to reach by climbing because the boles were too thin to support a climber's weight. Needle length was measured on the 1-, 2-, 3-, 4-, and 5-year old needles (Figure 2). Ten green, healthy fascicles were randomly collected from the primary branch pointing to the northwest (NW) and the southeast (SE). The average length of 10 fascicles was measured to the nearest 5 mm for each age class on each branch. Since the length of the needles did not vary, on average, more than 1 to 2 cm in length per age class, it was expedient to record only the average length of 10 fascicles. When fewer than 10 fascicles but more than 5 were present within an age class, all fascicles were measured and the total number of fascicles also recorded. SE and NW aspects were chosen as the most protected and exposed aspects, respectively. When the whorl lacked a branch in the NW or SE quadrant, the next closest branch was measured in the north or south quadrant, respectively. Total height and height of the first and sixth whorls above breast height were also measured on each sample tree to the nearest 10 cm using a graduated fiberglass pole, and dbh was measured to the nearest 0.1 cm with a diameter tape. Age was determined simply by counting the whorls, since ponderosa pine in Patagonia grows

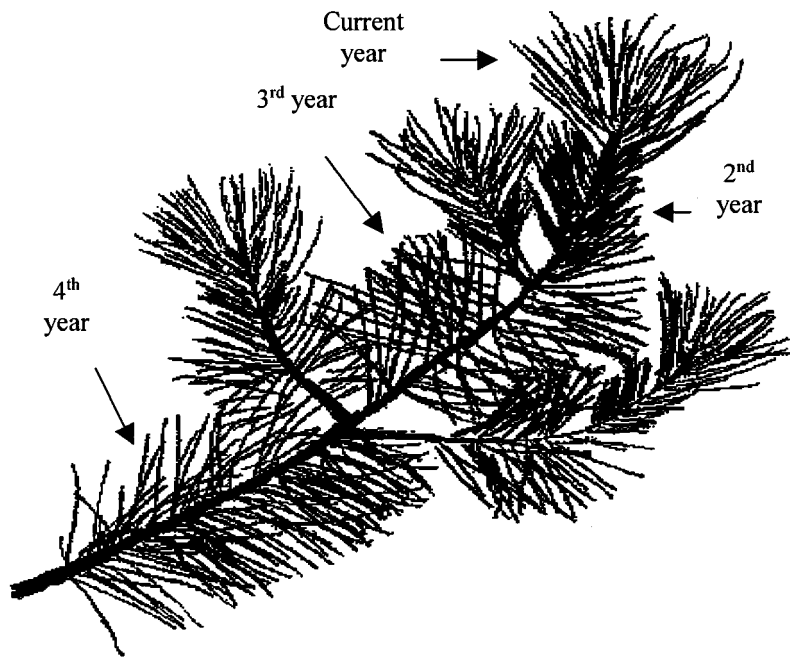


Figure 2.2. A sketch of a ponderosa pine branch demonstrating the different age classes of foliage measured on five-year-old branches on the 200 largest trees per hectare in Neuquén, Argentina.

unimodally. The ages determined by whorl counts were checked against data collected 2 years previous by CIEFAP.

Tree climbers used security systems to climb to the fifth whorl of each of the 330 sample trees. On unstable tree tops or during unfavorable weather conditions, climbers collected the

needles or cut the branch off and returned to the ground to complete measurements. Less than 10% of the measure trees were pruned to sample for NL.

Of the 330 sample trees, 21 were forked and two individuals demonstrated indeterminate height growth. One plot contained a mixture of jeffrey and ponderosa pine but no distinction was made as they exhibit similar growth patterns (Hallin 1957). Three stands had evidence of a recent thinning from below, although a total of five dominants were missing. Because the dominants removed were forked or diseased, these plots were kept in the sample (Gonda 1998). Six trees were missing current years' needles as a result of feeding by the butterfly moth in five measure plots. Of the 330 sample trees, 13 lacked a NW branch and 13 a lacked SE branch on the fifth whorl.

Analysis

Height at age 20 had to be extrapolated or interpolated on several plots younger than 20 or older than 20, respectively (measurements were taken on stands ranging in age from 18 to 21 years). The protocol for extrapolating total height followed those described by Gonda (1998).

Response variables for the analyses were mean total height (age 20) of the 100-largest (D_{100}) and 200-largest (D_{200}) trees per hectare by dbh, and the mean total height (age 20) of the 100-largest (H_{100}) and 200-largest (H_{200}) trees per hectare by total height. Predictor variables were plot-level means for various needle lengths, including each age class-aspect combination as well as the mean of 2-, 3-, 4-, and 5- most recent years by aspect. This resulted in 16 potential predictor variables. Analyses were performed with weighted, simple linear regressions using the S-PLUS analytical software package. Generalized coefficients of determination (R^2_g) were calculated using parameters from the weighted regressions:

$$R^2_g = (1 - \frac{\sum(pNL_i - NL_i)^2}{\sum(NL_i - \overline{NL})^2})$$

Where

NL_i = average needle length for plot_{*i*}

pNL = predicted needle length for plot_{*i*}

\overline{NL} = average needle length oversampled population

The null hypothesis of no difference between aspects was tested with a paired t-test, considering the experimental units to be: 1) plantations; 2) plots; or 3) trees. All test were performed with $\alpha = 0.05$.

RESULTS

In the NW aspect, the minimum needle length among all five age classes was 4 cm, the average 17.5 cm, and the maximum 27 cm. In the SE aspect, the minimum needle length among all five age classes was 6 cm, the average 17.7 cm, and the maximum 27.5 cm. Approximately 60 % of all sample trees were missing age class 5 in both aspects (206 out of 300 NW aspect; 195 out of 330 SE aspect). Of the NW branches, eight suffered insect damage on first-year needles; of the SE branches, five exhibited damage on first-year needles.

Number of Years Measured

The ability of NL to predict total height at age 20 fluctuates dramatically from year to year (Table 3). Any one year may be very well correlated, as in year 3, or very poorly, as in year 2. When you take more needle length age classes into consideration, this fluctuation is ameliorated, thus, creating a stronger model by which to predict top height. However, there was a significant number of measure trees that lacked needles in the fifth year, perhaps affecting relative R^2_g values.

One-hundred dominant versus 200-dominant stems per hectare

There was a noticeable difference between coefficients of determination for the stand component representing the 100- and 200-most dominant stems per hectare, by both diameter and height (Table 3). Although both (D and H) are well correlated with the average of 5 consecutive age classes of needles, measuring the stand component representing the largest 200 trees ha⁻¹ will yield more reliable site quality prediction.

Table 2.3. Coefficient of determination (R^2_g as %) of simple linear regressions between the mean length of needles from all five age classes (NL_g) and top height at 20 years.

Aspect	D ₂₀₀	D ₁₀₀	H ₂₀₀	H ₁₀₀
Northwest aspect	69.5%	60.5%	68.0%	57.5%
Southeast aspect	66.5%	53.8%	69.6%	57.5%

Branch Aspect

Among the 17 plantations in Neuquén there was no significant difference between mean needle length of SE vs. NW aspects for the plantation- or plot-level except for year 1 (Table 5). Year 1 had a marginally significant value in the tree-level t-test ($p = 0.099$). Year five also obtained some borderline p-values. The lack of needles in these two age classes in several plantations may have affected the results. The prevailing lack of a significant difference was obtained regardless of whether trees, plots, or plantations were regarded as the basic experimental unit.

Table 2.4. Coefficients of Determination for all possible combinations of year and aspect for the stand component representing the 200 most dominant stems per hectare in plantations ranging in age from 18 to 21 years throughout western Neuquén province, Argentina. The values are generalized R^2 values calculated from the weighted parameters with needle length as the explanatory and top height as the response variable.

Needle Aspect	current year	year 2	year 3	year 4	year 5	years 1,2	years 2,3	years 3,4	years 4,5	years 1-3	years 2-4	years 3-5	years 1-4	years 2-5	years 1-5
<i>200 tph by DBH</i>															
Northwest	.533	.335	.764	.661	.362	.561	.581	.747	.612	.670	.655	.697	.703	.654	.695
Southeast	.474	.362	.733	.661	.300	.571	.607	.730	.536	.675	.662	.648	.702	.630	.665
<i>200 tph by TH</i>															
Northwest	.513	.322	.748	.643	.336	.544	.583	.717	.582	.670	.634	.650	.683	.627	.680
Southeast	.484	.340	.733	.671	.383	.553	.582	.733	.593	.664	.657	.718	.699	.671	.696
<i>100 tph by DBH</i>															
Northwest	.385	.264	.655	.547	.221	.418	.514	.669	.483	.548	.600	.622	.604	.595	.602
Southeast	.316	.292	.669	.406	.174	.425	.539	.603	.359	.556	.539	.531	.559	.520	.538
<i>100 tph by TH</i>															
Northwest	.280	.291	.682	.660	.203	.402	.542	.714	.475	.556	.623	.576	.609	.576	.575
Southeast	.300	.32	.649	.589	.232	.462	.550	.662	.476	.560	.615	.594	.619	.562	.575

Table 2.5. The T-test results for the entire sample size of 330 trees.

Needle Age Class	Difference between aspects	P-value
<i>PLANTATION LEVEL MEANS</i>		
Year 1	14.83	0.0001
Year 2	1.56	0.1374
Year 3	0.26	0.7975
Year 4	-0.39	0.7006
Year 5	0.77	0.4499
<i>PLOT LEVEL MEANS</i>		
Year 1	18.59	0.0001
Year 2	1.51	0.1406
Year 3	0.100	0.9207
Year 4	-0.379	0.7072
Year 5	0.745	0.4621
<i>TREE-LEVEL MEANS</i>		
Year 1	1.66	0.099
Year 2	0.546	0.5856
Year 3	-0.25	0.8026
Year 4	0.542	0.5880
Year 5	-2.285	0.0247

Prediction Equations

The specific prediction equations based on average NL for the last four age classes of needles on the Southeast-facing branches are as follows:

$$D_{100} = - 4.1949 + \text{Needle Length} * 0.8544 \quad [1]$$
$$R^2_g = 0.559 \quad \text{MSE} = 2.33$$

$$D_{200} = - 4.1824 + \text{Needle Length} * 0.8536 \quad [2]$$
$$R^2_g = 0.7016 \quad \text{MSE} = 1.63$$

$$H_{100} = - 5.2723 + \text{Needle Length} * 0.9778 \quad [3]$$
$$R^2_g = 0.619 \quad \text{MSE} = 1.84$$

$$H_{200} = - 5.844 + \text{Needle Length} * 0.9986 \quad [4]$$
$$R^2_g = 0.699 \quad \text{MSE} = 1.407$$

Where:

$D_{100}, D_{200}, H_{100}, H_{200}$ = mean height (m) for stand components defined in text at total stand age 20

NL = mean length NL of 10 fascicles developed during the last four years measured on the fifth branch from the leader with a SE aspect (cm) on the same stand component

DISCUSSION

The average of NL for the last 4 years was chosen as the best predictor of top height at age 20 in ponderosa pine plantations in the province of Neuquén. Although coefficients of determination were often higher for 3-year-old or 3- and 4-year-old needles, the average of the last 4 years performed almost as well and has the appeal of being less vulnerable to extreme weather in an unusual year. The fact that, in general, the R^2 values increase as more needle age classes are included may be attributable to fluctuations in annual precipitation. Therefore, it is advisable to measure as many years as possible in NL to diminish the effect of weather fluctuations on site quality predictions. The fact that 3-year-old needle lengths were so highly correlated with top height at age 20 is probably best explained by the fact that precipitation that year was particularly close to normal annual precipitation for the region. Since aspect was not a significant factor influencing average needle length, standardizing to the southeast aspect is recommended because it is the more protected aspect.

Even though correlations between NL and top height were highest for stand components corresponding to D_{200} or H_{200} (Table 3), measuring NL on the D_{100} or H_{100} component requires measuring fewer trees and corresponds more closely to the stand component targeted in other site quality indicators for ponderosa pine plantations in Patagonia, such as site index (Andenmatten and Letourneau 1996a) and growth intercept (Andenmatten and Letourneau 1996b, Gonda 1998). Therefore equation [1] is recommended for predicting site quality in these ponderosa pine plantations (Figure 3).

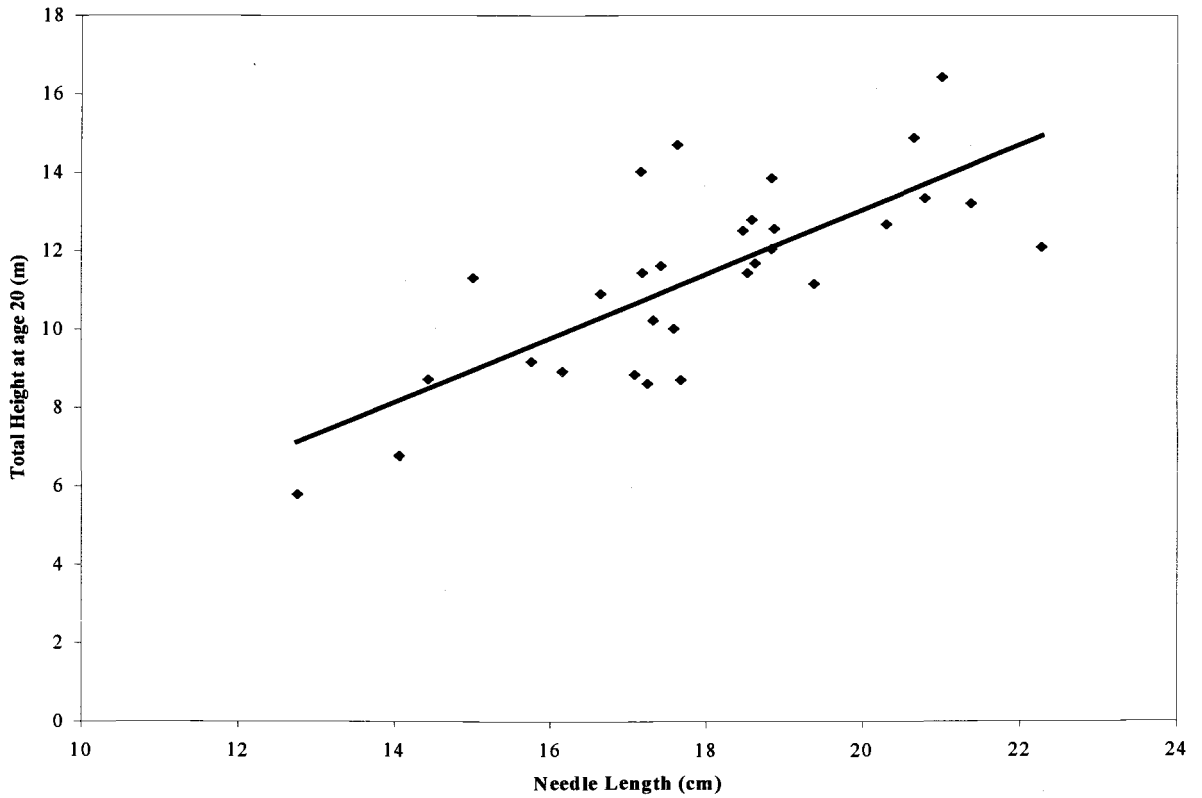


Figure 2.3. The relationship between the average needle length of the four most recent years age classes of foliage and top height at age 20 for the stand component corresponding to the 100 largest trees per hectare by dbh.

The selected equation was used to predict the relationships among NL, D_{100} and the mean annual increment (Table 6).

Table 2.6. Relationships among the range of NL and the respective values of the growth intercept index (GII), mean height of the 100 trees per hectare with the largest diameter at breast height at age 20 (D_{100} (age 20)), and the mean annual increment (MAI) of D_{100} (age 20).

NL (cm)	D_{100} (age 20) (m)	MAI of D_{100} (age 20) (m)
24	16.6	0.83
22	15.2	0.76
21	14.0	0.70
19	12.8	0.64
18	11.7	0.59
17	10.7	0.54
16	9.8	0.49
15	9.0	0.45
14	8.3	0.41
13	7.6	0.38
12	7.1	0.35
12	6.6	0.33

The possibility that this methodology worked so well may be linked partly to the lower genetic variation of ponderosa pine growing in Patagonia versus its native range. The seed source of many plantations can be traced to collection and germination of seeds from the Quechuquina ranch in the late 1970s. Over 1.5 million seedlings were produced annually from this single plantation of less than one hectare (Hoepke 1995). Many of the sample plots were located in the area described by Hoepke as being forested in 1977 and 1978 from this seed source.

The NL index yields reasonably accurate predictions of D_{100} for 20-year-old plantations, however, its performance in younger or older plantations is unknown. The next step should therefore be to compare NL on plantations of different ages growing near one another on the same site, or to record needle lengths over a long period of time on these same permanent plots. Included in this database should be precipitation and other weather records where possible. It would be ideal if these plantations were established with seedlings from the same seed source. It is also recommended that this analysis be performed as soon as possible because NL has the potential to be the most practical site quality indicator for young ponderosa pine plantations forming the core of ongoing afforestation efforts in Patagonia.

In conclusion, the replication of this study will serve as the basis for further research on site productivity. Furthermore, the results may provide incentive for forestland owners if they understand the potential productivity of their land for wood production. The future of forestry is still undetermined in Patagonia, hence, an early assessment of site quality may strengthen the incentive to invest in plantation forestry. Finally, a regional analysis of site quality for these young stands has yet to be done since they are too young for traditional methods (i.e. site index). The growth intercept method is useful down to a certain age (5 years at breast height), but this study extends determination of site quality to even younger stands.

REFERENCES

- Andenmatten, E. and F. Letourneau. 1996a. Funciones de intercepción de crecimiento para predicción de índice de sitio en pino ponderosa de aplicación en la región andino patagónica de Río Negro y Chubut. INTA. Río Negro. Argentina. 5p. Unpublished report.
- Andenmatten, E. and F. Letourneau. 1996b. Primeras curvas de índice de sitio y crecimiento en altura para pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws) de aplicación en la región andino patagónica de las provincias de Chubut y Río Negro. Argentina. 7p. Unpublished report.
- Boyer, W. 1970. Shoot growth patterns of young loblolly pine. *Forest Science*. 16(4):472-482.
- Clements, J. 1970. Shoot responses of young red pine to watering applied over two season. *Canadian Journal of Botany*. 48:75-80.
- Cook, D. 1941. Five season's growth of conifers. *Ecology*. 22(3):285-296.
- Cregg, B. M. 1993. Seed-source variation in water relations, gas exchange, and needle morphology of mature ponderosa pine trees. *Canadian Journal of Forest Research*. 23:749-755.
- Diaz, Arnold. 1997. *Forestar en Argentina*. Informe producido para CIEFAP/GTZ/INTA. Esquel, Chubut. Argentina. 14p.
- Garrett, P. W. and R. Zahner. 1973. Fascicle density and needle growth responses of red pine to water supply over two seasons. *Ecology*. 54:1328-1334.
- Gonda, H. E. and G. O. Cortés. 1995. Poda baja de pino ponderosa en la Patagonia andina. Utilización de distintas herramientas, proceso de cicatrización y modelos preliminares. *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo I. 324-330.
- Gonda, H. E. 1996. Instalación de un ensayo de raleo y parcelas permanentes en un bosque de pino ponderosa de 19 años de edad en Abra Ancha. CIEFAP-Cor.Fo.Ne. Chubut. Argentina. 4p. Unpublished report.
- Gonda, H. E. 1998. Height-diameter and volume equations, growth intercept and needle length site quality indicators, and yield equations for young ponderosa pine plantations in Neuquén, Patagonia, Argentina. Ph.D. dissertation. Oregon State University. Corvallis, OR. USA. 198p.

- Hallin, W. E. 1957. Silvical characteristics of Jeffrey pine. USDA. Forest Service. Forest and range Experiment Station. Berkeley. California. Technical Paper 17. 11p.
- Hanover, J. W. 1963. Geographic variation in ponderosa pine leader growth. *Forest Science*. 9(1): 86-95.
- Harrington, T. B. and J. C. Tappeiner. 1991. Competition affects shoot morphology, growth duration, and relative growth rates of Douglas-fir saplings. *Canadian Journal of Forest Research*. 21:474-481.
- Hoepke, E. 1995. Algo de historia forestal patagónica. *In IV Jornadas Forestales Patagónicas*. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo IV. 725-727.
- Kozlowski, T. T. 1958. Water relations and growth of trees. *Journal of Forestry*. 56:498-502.
- Kozlowski, T. T. 1963. Growth characteristics of forest trees. *Journal of Forestry*. 61:655-662.
- Kozlowski, T. T., Torrie, J. H. and P. E. Marshall. 1973. Predictability of shoot length from bud size in *Pinus resinosa* Ait. *Canadian Journal of Forest Research*. 3:34-38.
- Laclau, P. 1995. El plan de extensión forestal en la región patagónica. *In IV Jornadas Forestales Patagónicas*. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo III. 703-707.
- Lotan, J. E. and R. Zahner. 1963. Shoot and needle responses of 2-year-old red pine to current soil moisture regimes. *Forest Science*. 9:497-506.
- McDonald, P. M., Skinner, C. N., and G. O. Fiddler. 1992. Ponderosa pine needle length: an early indicator of release treatment effectiveness. *Canadian Journal of Forest Research*. 22:761-764.
- Pearson, G. A. 1918. The relation between spring precipitation and height growth of western yellow-pine saplings in Arizona. *Journal of Forestry*. 16:677-689.
- Squillance, A. E. and R. R. Silen. 1962. Racial variation in ponderosa pine. *Forest Science Monograph* 2. 17p.
- Tappeiner, J. C., Hughes, T. F., and S. D. Tesch. Bud production of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) seedlings: response to shrub and hardwood competition. *Canadian Journal of Forest Research*. 17:1300-1304.
- Tryon, E.H., Cantrell, J. O. and K. L. Carvell. 1957. Effect of precipitation and temperature on increment of yellow-poplar. *Forest Science*. 3(1):32-43.

Zahner, R. 1962. Terminal growth and wood formation by juvenile loblolly pine under two soil moisture regimes. *Forest Science*. 8(4):345-352.

Zahner, R. and A. R. Stage. 1996. A procedure for calculating daily moisture stress and its utility in regressions of tree growth on weather. *Ecology*. 47(1):64-74.

CHAPTER 3

SPANISH VERSION:

Versión en español

El uso de la longitud de acículas como una predicción del índice de sitio en plantaciones jóvenes de pino ponderosa en la provincia de Neuquén, Argentina.

INTRODUCCION

Hace 30 años en Argentina, el pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws var. *ponderosa*) ha sido plantado ampliamente por toda la Patagonia. Ubicadas en las estancias y las tierras de provincia, estas plantaciones han exhibido un crecimiento muy rápido, muchas son similares al crecimiento de las plantaciones del Abeto Douglas del oeste de Oregon, E.U.A. Por ejemplo, en un sitio muy productivo para el pino ponderosa en Patagonia, el crecimiento anual de altura puede alcanzar un metro (Gonda 1998).

Una de las razones por las cuales se espera que el pino ponderosa crezca bien en la Patagonia es que hay algunas semejanzas importantes ambientales entre la Patagonia y el Noroeste del Pacífico de los E.U.A. (Gonda 1998):

1. El rango de latitud es similar entre las montañas de la Patagonia en los Andes, las Sierra Nevada y las Cascadas— aproximadamente 42 - 48° al sur y al norte, respectivamente.
2. Los Andes y las montañas Cascadas tienen orígenes geológicos similares.
3. Las montañas crean efectos de las sombras de lluvias similares para la Patagonia, el este de Oregon, y el norte de California.
4. Las dos áreas tienen climas mediterráneos que consisten en inviernos húmedos y veranos secos.

Relativamente poco se sabe sobre la productividad al largo plazo y los beneficios económicos de las plantaciones del pino ponderosa en la Patagonia. Poca investigación se ha hecho ya que las plantaciones (y su manejo) han sido introducidas recientemente en la Patagonia. En los próximos 20 años, sin embargo, mucha más información estará disponible

ya que la edad de rotación de los sitios se acercan a la edad proyectada de 30 a 45 años (Gonda 1998), y más investigación llenará el espacio de información.

Las plantaciones del pino ponderosa pueden producir más alto rendimiento en la Patagonia que en su variedad nativa en el norte de California o el este de Oregón (Gonda 98). Esta alta capacidad significa más alto volumen y la producción de la madera por hectárea en el norte de la Patagonia. Actualmente, un estudio se enfoca ha encontrado índices de la calidad del sitio para las nuevas plantaciones. La técnica de la intercepción del crecimiento se ha sido estudiado y parece tener resultados prometedores (Gonda 1998). La técnica de la intercepción del crecimiento ha sido exitosamente aplicada en muchas especies distintas en los EE.UU. para determinar el índice de sitio (Wakeley y Marrero 1958; Day, Bey y Rudolph 1960; Oliver 1972; Alban 1979). La longitud de los cinco entrenudos por arriba de la altura del pecho parece producir la mejor estimación del potencial de productividad del sitio, en contraste con los otros números e intervalos de los entrenudos (Wakeley y Marrero 1962; Oliver 1972; Gonda 1998).

En las provincias del Chubut, Río Negro y Neuquén, la longitud de los 5 entrenudos por arriba de la altura del pecho fue igualmente la mejor variable para predecir el crecimiento en altura (Andenmatten y Letourneau 1996; Gonda 1998). Sin embargo, este índice obviamente no puede ser aplicado a las plantaciones que no tienen los cinco entrenudos por arriba de la altura del pecho. Una alternativa al método del crecimiento de la intercepción sería extremadamente útil puesto que, en la Patagonia, hay muchas plantaciones más joven de cinco años. En consecuencia, hay muchas plantaciones sin los cinco entrenudos por arriba

de la altura del pecho. Por esta razón, es difícil evaluar la calidad del sitio en las recientes tierras aforestadas. Estudios anteriores han establecido una correlación entre la longitud de las acículas y la altura a la edad de 20 años (Gonda 1998), entonces la longitud de las acículas pareció ser una buena variable para predecir el índice de sitio en las plantaciones muy jóvenes.

El primer objetivo de este estudio fue establecer un protocolo para estimar el promedio de la longitud de la acícula para una plantación dada. Este objetivo implicaba determinar muchas variables incluyendo:

- 1) la exposición de la rama (al noroeste o al sureste) que predice mejor el crecimiento de la altura;
- 2) la cantidad de árboles dominantes requeridos para predecir la altura total (árboles dominantes definidos por el diámetro relativo a la altura del pecho o la altura total relativa); y
- 3) el número de clases de edades de acículas que provean la mejor predicción del crecimiento de la altura.

El segundo objetivo fue desarrollar una ecuación para predecir el índice de sitio (la altura dominante a la edad de 20 años) con el nuevo índice de la longitud de la acícula.

Revisión de Literatura

Características morfológicas como la longitud de la acícula, el tamaño y la longitud de la yema, el crecimiento del brote y el crecimiento de la yema terminal de los árboles han

sido asociadas con el vigor y el crecimiento del árbol. Los mecanismos fisiológicos de controlar estas características son complicados, pero, en general, la longitud de la acícula esta correlacionada positivamente con el tamaño de la yema, el crecimiento del brote y el número de yemas y brotes. Entonces, observando los mecanismos que controlan cualquier de las características permite ver dentro de los mecanismos que controlan a los otros.

Squillance y Silen (1962) encontraron que la longitud de la acícula del pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws) tuvo una correlación positiva con la altura total y en consecuencia, era una manera de predecir el potencial del crecimiento del árbol. McDonald et al (1992) también demostraron que la longitud de la acícula de un arbolito de un año de edad del pino ponderosa sería posiblemente una buena manera de predecir el crecimiento en altura.

Kozlowski et al (1973) demostraron que la longitud de la yema era un índice del crecimiento de la yema de la estación presente en el pino rojo (*Pinus resinosa* Ait.). Kozlowski (1963) mostró que la longitud de la yema del pino rojo (*Pinus resinosa* Ait.) era un buen índice del crecimiento del brote del año corriente. La competencia con otras plantas afectará las características de los brotes, sin embargo. Por ejemplo, la competencia de la vegetación arbustiva del año anterior y del actual disminuyo el número de yemas, entrenudos y el crecimiento total de plántulas del Abeto Douglas (*Psuedotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii*) en el suroeste de Oregon (Harrington y Tappeiner 1991). Reducciones en la producción de yemas en plántulas del Abeto Douglas fueron reportadas por Tappeiner et al (1987).

Kozlowski (1963) reportó que el año en que se forman las yemas es crítico para la longitud del crecimiento del brote en el año siguiente en muchas especies forestales, seguramente debido a las condiciones ambientales del crecimiento del año actual. Esta observación ha impulsado el análisis de la relación entre la longitud de la acícula y la precipitación. Lotan y Zahner (1963) descubrieron que la precipitación del año actual y la del año anterior afectaron la longitud de la acícula del año actual en el pino rojo (*Pinus resinosa* Ait.) y además, una sequía durante la estación del crecimiento actual severamente redujo la longitud de la acícula. Garrett y Zahner (1973) reportaron resultados interesantes con respecto a la longitud de la acícula del pino rojo bajo regímenes diferentes de humedad en dos estaciones. Bajo condiciones secas en medio de la estación del año anterior, la longitud de las acículas fue mayor pero en menor número que bajo condiciones de humedad amplia. Zahner y Stage (1966) desarrollaron unas ecuaciones para explicar el crecimiento de los brotes de cualquier año usando el déficit de humedad en lugar de datos empíricos así como la precipitación.

Los efectos del agua en el crecimiento del árbol y el desarrollo del mismo han recibido mucha atención en varias especies de coníferas y hojosas en los EE.UU. Pearson (1918) reportó que en el pino ponderosa (*Pinus ponderosa* var. *scopulorum* Engelm.) la precipitación no era abundante durante el período de crecimiento más rápido de la altura del árbol, y en consecuencia la humedad requerida para el crecimiento del árbol venía del suelo. Cook (1941) estudió cinco años el crecimiento del bosque y al mismo tiempo midió la precipitación y la temperatura. Los resultados mostraron la necesidad de ampliar la precipitación durante el año anterior para un crecimiento máximo en el año actual. Tryon et

al (1957) descubrieron que la humedad del año actual en *Liriodendron tulipifera* L. afectó el crecimiento del árbol más que en otros períodos estudiados. Kozlowski (1958) asoció la altura con la precipitación del año anterior y la formación de la yema. Clements (1970) llevó a cabo estudios analizando el efecto del agua por el crecimiento de la yema del pino rojo y descubrió que cuando el agua era abundante, la longitud de las acículas también era más largas.

METODOS

Parcelas

Treinta parcelas fueron elegidas de las 127 parcelas permanentes que fueron establecidas por el Centro de Investigación y Extensión Andino Patagónico (CIEFAP) en 1996 en la Provincia de Neuquén, Patagonia, Argentina (Gonda 1998). Las treinta parcelas eran representativas del rango geográfico y productividad del pino ponderosa en la provincia de Neuquén (Figura I, Tabla I). En cada una de las 30 parcelas, a los 200 árboles dominantes por hectarea se les midió el diámetro (d) a la altura del pecho y la altura total (alt).

El muestreo fue limitado a los rodales con una edad total entre 18 y 22 años. Este grupo de plantaciones fue dividido en 3 clases de productividad y las parcelas elegidas en una manera que asegurara la distribución de cada clase de productividad por el rango latitudinal de Neuquén (Figura I, Cuadro I). Un rango de la altitud y la pendiente fue obtenida, aunque no fue representada totalmente el rango total de la precipitación anual. La precipitación anual para las 127 parcelas fue de 929 mm, mientras que el promedio para las 30 parcelas muestreadas en este ensayo fue de 836 mm (Cuadro II). Desde un punto de vista práctico, la falta de precipitación no es un problema porque ya no hay casi ningún lugar disponible para afforestación con una precipitación anual mayor de 1000 mm.

Los rodales probados originales fueron establecidos en plantaciones que no fueron raleadas, los cuales no tienen daños significantes de insectos, enfermedades o daños

causados por tempestades. Algunas de las parcelas elegidas para el ensayo habían sido podadas. Se suponía que al podar no afectó la longitud de las acículas significativamente puesto que el procedimiento normal consiste en eliminar no más de 1/3 a 1/2 de la copa viva.

Cuadro 3.1. Frecuencia de las 30 parcelas por índices de sitio por frecuencia de parcelas, intercepción de crecimiento (la longitud de los 5 entrenudos sobre el dap) y la latitud(sur).

<i>Índice de Lugar</i>	<i>Frecuencia Parcelas</i>	<i>Rango Intercepción de Crecimiento</i>	<i>Rango Latitudinal</i>
I	10	3.93 – 4.72 m	39°18.5' a 40°29.3'
II	13	3.14 – 3.93 m	36°51.3' a 41°3.5'
III	7	2.35 – 3.14 m	37°7.4' a 40°17.7'

Cuadro 3.2. Rango de las variables ambientales para las 30 parcelas del ensayo de acículas y para las 127 parcelas originales de pino ponderosa establecidas por la provincia de Neuquén, Argentina (adaptado de los datos coleccionados por Gonda et. al. (1996).

Los Rangos	Latitud (sur)	Longitud (oeste)	Elevación (m)	Pendiente (°)	Profundidad de Suelos (m)	Precipitación (mm)
<i>LAS 30 ELEGIDAS</i>						
<u>Mínimo:</u>	36°51'57"	70°36'31"	775	0	0.40	400
<u>Promedio:</u>	39°27'41"	70°22'54"	1079	10	1.02	836
<u>Máximo:</u>	41°03'36"	71°16'19"	1675	22	1.8	1400
<i>LAS 127 PARCELAS</i>						
<u>Mínimo:</u>	36°44'19"	70°35'22"	645	10	0.40	400
<u>Promedio:</u>	39°27'29"	70°23'54"	1059	8.6	1.00	929
<u>Máximo:</u>	41°05'57"	71°18'24"	1715	30	1.80	2500

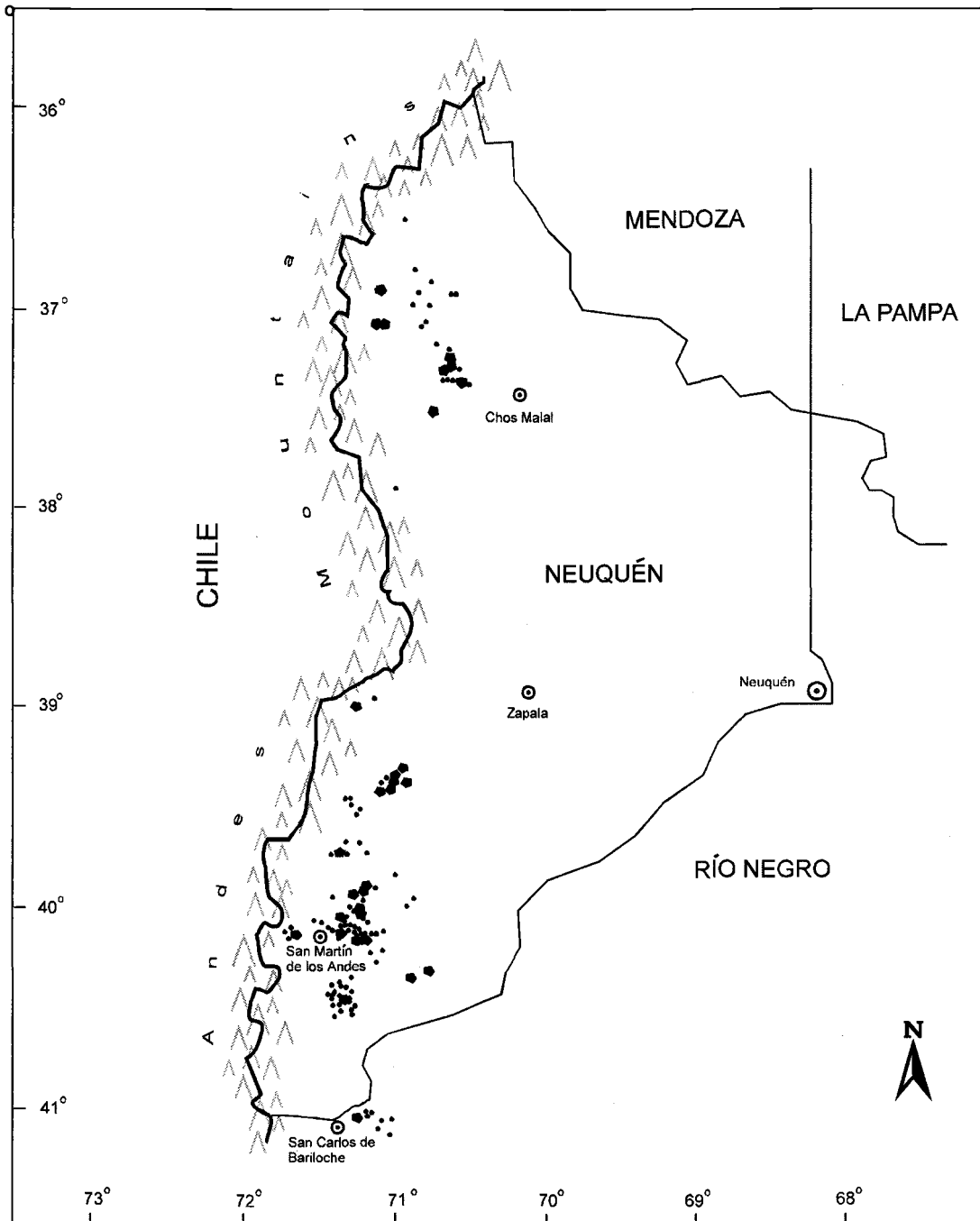


Figura 3.1. Mapa de la Provincia de Neuquén, Argentina con las ubicaciones de todas las parcelas permanentes (·) y las parcelas elegidas (●) para este ensayo de la longitud de la acícula. Adaptado de Gonda (1998).

Mediciones

La longitud de las acículas fue medida en los 200 árboles por hectárea con el diámetro más grueso y los 200 por hectárea con alturas más altas. Las longitudes de la acícula fueron determinadas sobre ramas elegidas del quinto verticilo porque era importante medir solamente las acículas que se han desarrollado bajo la luz del sol total. En estos árboles, el quinto verticilo siempre estaba en el primer tercio de arriba hacia abajo de la copa, la que generalmente está muy iluminada. Las acículas pocas veces permanecen en la rama por más de cinco años, por lo que no tendría caso medir ramas más viejas. Por el contrario, los verticilos encima del quinto eran muy peligrosos de alcanzar ya que los fustes no soportaban el peso de un escalador. La longitud de la acícula fue medida en acículas que tenían 1, 2, 3, 4 y 5 años (Figura 2). Diez saludables fascículos verdes fueron colectados al azar de la primera rama y el promedio de los 10 fascículos que estabaran en el noroeste o el sureste fueron medidos a los 5 mm para cada clase de edad de cada rama (Figura II). Cuando había menos de 10 fascículos pero más de 5 que estaban presentes dentro de una clase de edad, todos los fascículos fueron medidos y el número total de fascículos también fue anotado. Las exposiciones noroeste y sureste fueron elegidas como las más expuestas y las más protegidas, respectivamente. Cuando faltaba el verticilo de una rama en el cuadrante noroeste o sudeste, la rama más próxima fue medida en el cuadrante norte o sur, respectivamente. Debido a que la longitud de las acículas no variaba, en promedio, más de 1 a 2 cm. en la longitud de una clase de edad, lo más rápido fue anotar directamente el promedio de la longitud de los 10 fascículos. La altura total, el dap, y la altura del primero y sexto verticilo más arriba de la altura del pecho también fueron medidos en cada árbol

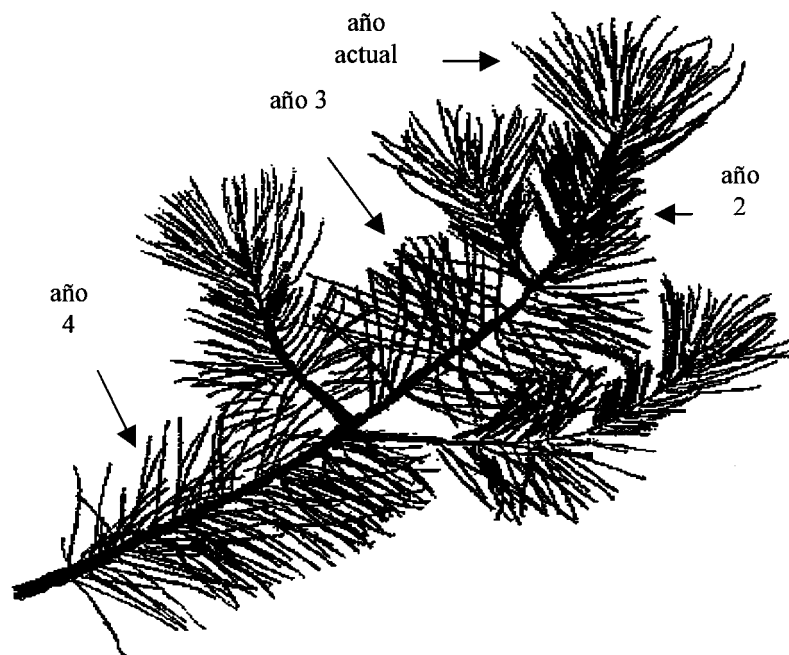


Figura 3.2. Rama de cinco años de edad del pino ponderosa que muestra todas las clases de edades medidas en los 200 árboles dominantes ha^{-1} .

muestreado al 10 cm, usando un poste graduado, hecho de fibra de vidrio y el diámetro fue medido al 0.1 cm con una cinta diamétrica. La edad fue determinada simplemente contando los verticilos ya que el pino ponderosa en la Patagonia crece con verticilos anuales visibles. Las edades determinadas contando los verticilos fueron verificadas comprobándolas con los datos recopilados hace 2 años por Gonda et al. (1998).

Los escaladores de árboles usaron sistemas de seguridad para subir al quinto verticilo en cada uno de los 330 árboles. En árboles con copas inestables o cuando las condiciones del tiempo eran desfavorables, los escaladores recogieron las acículas o cortaron la rama y

después se midieron. Menos de 10 % de los árboles medidos fueron podados para medir la longitud de las acículas.

De los 330 árboles muestreados, 21 eran bifurcados y dos individuos demostraban mal forma de crecimiento indeterminado. Una parcela contenía una mezcla de pino jeffrey y pino ponderosa pero no se diferenció entre las especies porque exhiben distribuciones muy similares de crecimiento (Hallin 1957). Tres rodales tenían evidencia de un raleo de clase inferior recientemente, con la falta de cinco dominantes en total. Debido a que los dominantes cortados eran bifurcados o tenían enfermedades, estas parcelas aún fueron medidas (Gonda 1998). A seis árboles les faltaban las acículas del año corriente, debido al ataque de una mariposa. De los 330 árboles muestreados, a 13 les faltaba una rama del noroeste y a 13 les faltaba una rama del sureste en el quinto verticilo.

Análisis

La altura a la edad de 20 años tenía que ser extrapolada o interpolada en algunas parcelas menores de 20 años o mayores de 20 años, respetivamente (las mediciones fueron tomadas en rodales de un rango entre la edad de 18 y 21 años). El protocolo para extrapolar la altura total siguió aquél descrito por Gonda (1998).

Las variables respuestas para los análisis fueron el promedio de la altura total (la edad de 20 años) de los 100 árboles dominantes (DAP_{100}) y los 200 árboles dominantes (DAP_{200}) por hectárea por el diámetro, y el promedio de la altura total (la edad de 20 años) de los 100 árboles dominantes (A_{100}) y los 200 árboles dominantes por hectárea por la altura total (A_{200}). Las variables predictorias eran los promedios de la longitud de las acículas al nivel de la parcela, incluyendo cada combinación de edad y exposición así como el promedio de los 2, 3, 4 y 5 años sucesivos por la exposición. Esto resultó en 16 variables predictorias posibles. El análisis fue llevado a cabo como una simple regresión lineal compensada usando el S-PLUS. Los coeficientes de la determinación generalizados (R^2_g) fueron estimados usando los parámetros de la regresión compensada (donde R^2_g fue calculado como $(1 - \sum(NL_i - NL)^2 / \sum(NL_i - NL)^2)$).

La hipótesis nula fue que no hay diferencia entre las exposiciones muestreadas considerando la comparación de t-student: 1) las plantaciones; 2) las parcelas; y 3) los árboles. Pruebas t-student fueron aplicados para probar la hipótesis que la longitud de las acículas es independiente de las exposiciones de la rama.

RESULTADOS

En las muestras de la exposición noroeste, la longitud de la acícula mínima junto con todas las clases de edades fue 4 cm, el promedio fue 17.5 cm y el máximo fue 27 cm. En el sureste, la longitud de la acícula mínima entre todas las clases de las edades fue 6 cm, el promedio 17.7 cm y la máxima 27.5 cm. Aproximadamente 64 % de todos los árboles medidos no tenían la clase de edad "5" en todas las exposiciones (206 de los 330 en el noroeste; 195 de los 330 en el sureste). De las acículas del primer año de la rama noroeste, 8 sufrieron daños por insectos; de la rama sureste, 5 mostraron daños.

Número de años medidos

El uso de la longitud de las acículas para predecir la altura total a la edad 20 fluctúa dramáticamente año con año (Cuadro 3). Cualquier año puede ser bien relacionado, como el tercer año o muy mal relacionado como el segundo año. Cuando se considere más clases de edades de las acículas, esta fluctuación puede ser explicada, en consecuencia, podemos hacer un modelo mejor para predecir la altura total. Sin embargo, había un significativo número de árboles medidos a los que les faltaban las acículas del quinto año, quizás afectando la relación (entre la altura y la longitud de la acícula).

Cuadro 3.3. Coeficiente de determinación (R^2_g como %) de las regresiones simple lineal entre el promedio de la longitud de las acículas de todas las cinco clases de edades y la altura total.

La exposición	D₂₀₀	D₁₀₀	A₂₀₀	A₁₀₀
Noroeste	69.5%	60.5%	68.0%	57.5%
Sureste	66.5%	53.8%	69.6%	57.5%

Cien-fustes dominantes versus 200-fustes dominantes por hectárea

Hubo una diferencia notable entre los coeficientes de determinación para el componente del rodal que representa los 100- y 200- árboles dominantes por hectárea, en dap y altura (Cuadro 4). Aunque los dos (el diámetro y la altura) están directamente relacionados con el promedio de las 5 clases de edades de las acículas consecutivas, midiendo el componente del rodal que representa los 200 árboles más grandes por hectárea va a producir una predicción de la calidad del sitio más seguro.

Aspecto de la rama

Entre las 17 plantaciones en Neuquén, no hubo diferencias significantes entre el promedio de la longitud de la acícula de las exposiciones sureste y noroeste para los niveles de la plantación, ni de la parcela, excepto para el primer año (Cuadro 5). El primer año tenía valores significantes en el nivel árbol en la prueba de t-student. El quinto año también obtuvo algunos valores de probabilidad marginales. La falta de acículas de estas clases de edades quizás haya afectado los resultados. La falta de una diferencia significativa fue obtenida a pesar de los árboles, las parcelas, o las plantaciones eran observados como la unidad básica experimental.

Cuadro 3.4. Coeficientes de determinación para todas las combinaciones posibles del año y exposiciones para el componente del rodal que representa los 200-árboles dominantes por hectárea en plantaciones de 18 a 21 años de edad al oeste de la provincia de Neuquén, Argentina. Los valores son R^2 generalizados, calculados de los parámetros compensados con la longitud de la acícula como la variable explicatoria y la altura total como la variable respuesta.

Aspecto de la acícula	El año corriente	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Años 1,2	Años 2,3	Años 3,4	Años 4,5	Años 1-3	Años 2-4	Años 3-5	Años 1-4	Años 2-5	Años 1-5
	<i>200 aph</i>	<i>Por</i>	<i>DAP</i>												
Noroeste	.533	.335	.764	.661	.362	.561	.581	.747	.612	.670	.655	.697	.703	.654	.695
Sureste	.474	.362	.733	.661	.300	.571	.607	.730	.536	.675	.662	.648	.702	.630	.665
	<i>200 aph</i>	<i>por</i>	<i>AT</i>												
Noroeste	.513	.322	.748	.643	.336	.544	.583	.717	.582	.670	.634	.650	.683	.627	.680
Sureste	.484	.340	.733	.671	.383	.553	.582	.733	.593	.664	.657	.718	.699	.671	.696
	<i>100 aph</i>	<i>por</i>	<i>DAP</i>												
Noroeste	.385	.264	.655	.547	.221	.418	.514	.669	.483	.548	.600	.622	.604	.595	.602
Sureste	.316	.292	.669	.406	.174	.425	.539	.603	.359	.556	.539	.531	.559	.520	.538
	<i>100 aph</i>	<i>por</i>	<i>AT</i>												
Noroeste	.280	.291	.682	.660	.203	.402	.542	.714	.475	.556	.623	.576	.609	.576	.575
Sureste	.300	.32	.649	.589	.232	.462	.550	.662	.476	.560	.615	.594	.619	.562	.575

Cuadro 3.5. Los valores de la prueba t-student de los niveles de la plantación, la parcela, y el árbol.

Clase de edad de acícula	Diferencia entre zonas	Valor-P
<i>Promedio del nivel "plantación"</i>		
Año actual	14.83	0.0001
Segundo año	1.56	0.1374
Tercer año	0.26	0.7975
Cuarto año	-0.39	0.7006
Quinto año	0.77	0.4499
<i>Promedio del nivel "parcela"</i>		
Año actual	18.59	0.0001
Segundo año	1.51	0.1406
Tercer año	0.100	0.9207
Cuarto año	-0.379	0.7072
Quinto año	0.745	0.4621
<i>Promedios del nivel "árbol"</i>		
Año actual	1.66	0.099
Segundo año	0.546	0.5856
Tercer año	-0.25	0.8026
Cuarto año	0.542	0.5880
Quinto año	-2.285	0.0247

Ecuaciones de predicciones

Las ecuaciones de predicción específicas basadas en el promedio de la LA de los 4 últimos años de la rama que tienen la exposición sureste son aquí:

$$D_{100} = - 4.1949 + \text{Longitud de la acícula} * 0.8544 \quad [1]$$
$$R_g^2 = 0.559 \quad \text{MSE} = 2.33$$

$$D_{200} = - 4.1824 + \text{Longitud de la acícula} * 0.8536 \quad [2]$$
$$R_g^2 = 0.7016 \quad \text{MSE} = 1.63$$

$$A_{100} = - 5.2723 + \text{Longitud de la acícula} * 0.9778 \quad [3]$$
$$R_g^2 = 0.619 \quad \text{MSE} = 1.84$$

$$A_{200} = - 5.844 + \text{Longitud de la acícula} * 0.9986 \quad [4]$$
$$R_g^2 = 0.699 \quad \text{MSE} = 1.407$$

Donde:

$D_{100}, D_{200}, A_{100}, A_{200}$ = Promedio de la altura (m) para el componente del rodal definido en el texto a la edad del rodal de 20.

Longitud de la acícula = Promedio de la longitud de los fascículos desarrollados durante los 4 últimos años medidos en la quinta rama de la punta con el aspecto sureste (cm) en el mismo componente del rodal.

DISCUSION

El promedio de la LA para los últimos cuatro años fue elegido como el mejor indicador de la altura total a la edad 20 en las plantaciones del pino ponderosa en la provincia de Neuquén. Aunque los coeficientes de determinación eran muchas veces más altas para el tercer año o los 3 y 4 años, el promedio de los 4 años hicieron casi tan bueno como el 3 año, y puede ser menos afectado por las fluctuaciones extremas de un año raro. El hecho de que, en general, los valores de R^2 aumentan cuando se mida más clases de edades de las acículas puede ser un efecto de la precipitación anual (a la longitud de las acículas). En consecuencia, es recomendable medir tantos años como sea posible de la LA para disminuir el efecto de las fluctuaciones del tiempo a las predicciones de la calidad de lugar. El hecho de que las acículas del tercer año eran tan bien relacionadas con la altura total a la edad de 20 probablemente es mejor explicado por el hecho de que la precipitación de este año fue particularmente cerca la precipitación anual normal para la región. Ya que el aspecto no fue un factor significativo que influyera el promedio de la longitud de la acícula, es recomendable que el sureste esté normalizado porque es el aspecto más protegido.

Aunque las correlaciones entre la LA y la altura total estaban más altas para los componentes que corresponden a los D_{200} o A_{200} (Cuadro 3). Medir la LA con el componente D_{100} o el A_{100} requiere medir menos árboles y corresponde más cerca al componente del rodal objeto en otros indicadores de la calidad de lugar para las plantaciones del pino ponderosa en la Patagonia, como el lugar (Andenmatten y Letourneau 1996a) y la intercepción del crecimiento (Andenmatten y Letourneau 1996b; Gonda 1998). Por eso, la

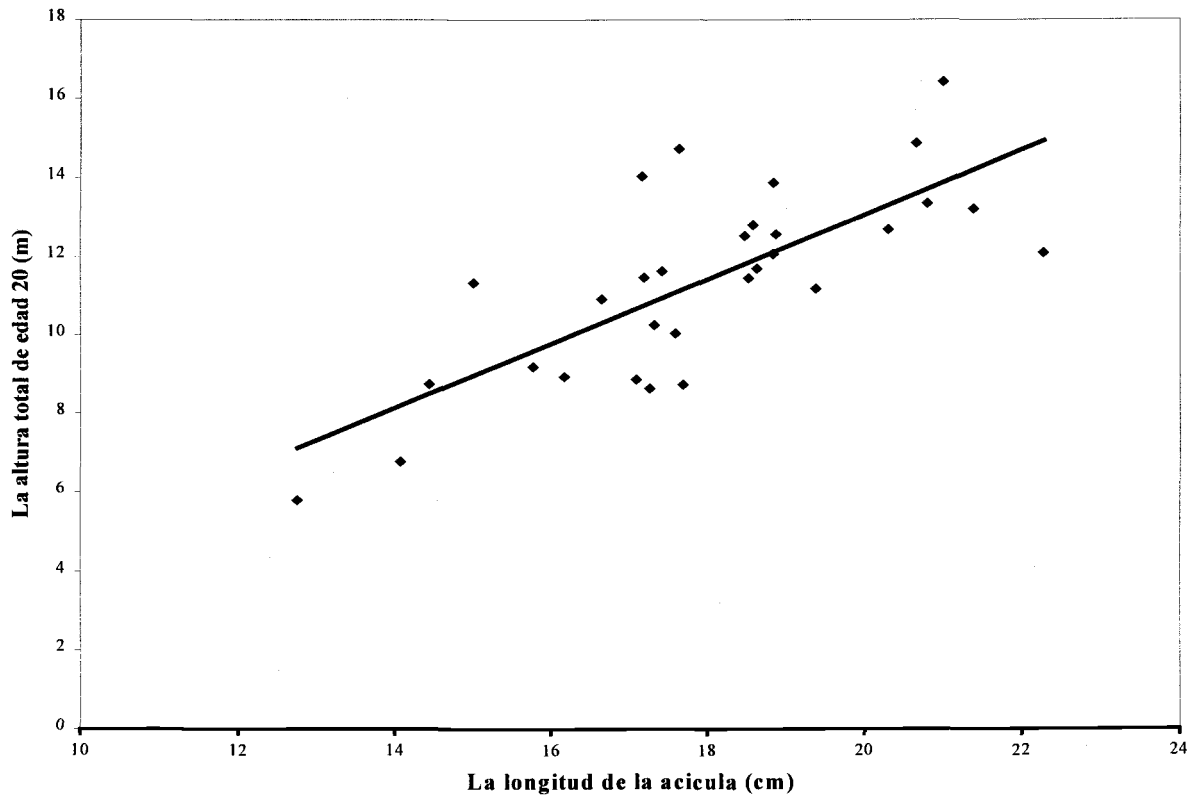


Figura 3.3. La relación entre el promedio de la longtiud de la acícula de los 4 últimos años y la altura total a de edad 20 para el componente del rodal que corresponde a los 100 más dominantes por hectarea por dap.

ecuación [1] es recomendable predecir la calidad del sitio en estas plantaciones del pino ponderosa.

La ecuación elegida fue aplicada para predecir las relaciones entre la longitud de acícula, D_{100} , y el incremento medio anual (Cuadro 5).

Cuadro 3.6. Las relaciones entre la variedad de la LA y el promedio de la altura total de edad 20 de los cien árboles por hectarea con los diámetros más gruesos al pecho (D_{100} (edad 20)), y el promedio del incremento anual (MAI) del D_{100} (edad 20).

LA (cm)	D_{100} (edad 20) (m)	MAI of D_{100} (edad 20) (m)
24	16.6	0.83
22	15.2	0.76
21	14.0	0.70
19	12.8	0.64
18	11.7	0.59
17	10.7	0.54
16	9.8	0.49
15	9.0	0.45
14	8.3	0.41
13	7.6	0.38
12	7.1	0.35

La posibilidad de que este método funcionó tan bien podrían relacionarse al hecho de la baja variación genética del pino ponderosa que está creciendo en la Patagonia que comparado con aquél crece en sus tierras nativas. La fuente de semilla de muchas plantaciones puede ser encontrada con conecta de conos y la germinación de la semilla en la estancia Quechuquina en los años '70. Más de 1.5 millones de semillas fueron producidos anualmente de esta plantación de menos de un hectárea (Hoepke 1995). Muchas de las parcelas elegidas fueron ubicadas en el área que se plantó en 1977 y 1978 con esta fuente de semilla (Hoepke 1995).

El índice de la LA produce predicciones razonables en los D_{100} para las plantaciones de 20 años de edad, sin embargo, su uso en plantaciones más jóvenes o más viejas todavía es desconocido. El próximo paso deberá ser comparar la LA entre plantaciones que estén creciendo cerca una de otras plantaciones o en la misma plantación o medir la LA por muchos años en algunas parcelas. Se deberá incluir en estos datos la precipitación y otras variables climáticas. Sería ideal si estas plantaciones estuvieran establecidas con plántulas de la misma fuente de semilla. Es recomendable que este análisis esté hecho tan pronto como se pueda porque la LA tiene potencial de ser el indicador más práctico para predecir la calidad de sitio en las plantaciones jóvenes del pino ponderosa en la Patagonia.

En conclusión, la repetición de este ensayo servirá como la base para los futuros trabajos ensayos sobre la productividad del sitio. Además, los resultados puede servir como un incentivo para los dueños de las plantaciones si entienden la productividad potencial de su tierra para la producción de madera. El futuro de la silvicultura todavía está indeterminado en la Patagonia, por lo tanto, una predicción pronta de la calidad de sitio puede mejorar el incentivo invertir en la plantación forestales. Finalmente, un análisis regional de la calidad de sitio para estos rodales jóvenes todavía no se ha hecho ya que son tan jóvenes para los métodos tradicionales (p.e. el índice de sitio). El uso del método de la intercepción del crecimiento es muy útil hasta una edad particular (a los cinco años a la altura del pecho) pero este ensayo extiende la determinación de la calidad de sitio para rodales más jóvenes todavía.

REFERENCIAS

- Andenmatten, E. and F. Letourneau. 1996a. Funciones de intercepción de crecimiento para predicción de índice de sitio en pino ponderosa de aplicación en la región andino patagónica de Río Negro y Chubut. INTA. Río Negro. Argentina. 5p. Unpublished report.
- Andenmatten, E. and F. Letourneau. 1996b. Primeras curvas de índice de sitio y crecimiento en altura para pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws) de aplicación en la región andino patagónica de las provincias de Chubut y Río Negro. Argentina. 7p. Unpublished report.
- Boyer, W. 1970. Shoot growth patterns of young loblolly pine. *Forest Science*. 16(4):472-482.
- Clements, J. 1970. Shoot responses of young red pine to watering applied over two season. *Canadian Journal of Botany*. 48:75-80.
- Cook, D. 1941. Five season's growth of conifers. *Ecology*. 22(3):285-296.
- Cregg, B. M. 1993. Seed-source variation in water relations, gas exchange, and needle morphology of mature ponderosa pine trees. *Canadian Journal of Forest Research*. 23:749-755.
- Garrett, P. W. and R. Zahner. 1973. Fascicle density and needle growth responses of red pine to water supply over two seasons. *Ecology*. 54:1328-1334.
- Gonda, H. E. and G. O. Cortés. 1995. Poda baja de pino ponderosa en la Patagonia andina. Utilización de distintas herramientas, proceso de cicatrización y modelos preliminares. *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo I. 324-330.
- Gonda, H. E. 1996. Instalación de un ensayo de raleo y parcelas permanentes en un bosque de pino ponderosa de 19 años de edad en Abra Ancha. CIEFAP-Cor.Fo.Ne. Chubut. Argentina. 4p. Unpublished report.
- Gonda, H. E. 1998. Height-diameter and volume equations, growth intercept and needle length site quality indicators, and yield equations for young ponderosa pine plantations in Neuquén, Patagonia, Argentina. Ph.D. dissertation. Oregon State University. Corvallis, OR. USA. 198p.
- Hanover, J. W. 1963. Geographic variation in ponderosa pine leader growth. *Forest Science*. 9(1): 86-95.
- Harrington, T. B. and J. C. Tappeiner. 1991. Competition affects shoot morphology, growth

- duration, and relative growth rates of Douglas-fir saplings. *Canadian Journal of Forest Research*. 21:474-481.
- Hoepke, E. 1995. Algo de historia forestal patagónica. *In IV Jornadas Forestales Patagónicas*. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo IV. 725-727.
- Kozlowski, T. T. 1958. Water relations and growth of trees. *Journal of Forestry*. 56:498-502.
- Kozlowski, T. T. 1963. Growth characteristics of forest trees. *Journal of Forestry*. 61:655-662.
- Kozlowski, T. T., Torrie, J. H. and P. E. Marshall. 1973. Predictability of shoot length from bud size in *Pinus resinosa* Ait. *Canadian Journal of Forest Research*. 3:34-38.
- Laclau, P. 1995. El plan de extensión forestal en la región patagónica. *In IV Jornadas Forestales Patagónicas*. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo III. 703-707.
- Lotan, J. E. and R. Zahner. 1963. Shoot and needle responses of 2-year-old red pine to current soil moisture regimes. *Forest Science*. 9:497-506.
- McDonald, P. M., Skinner, C. N., and G. O. Fiddler. 1992. Ponderosa pine needle length: an early indicator of release treatment effectiveness. *Canadian Journal of Forest Research*. 22:761-764.
- Pearson, G. A. 1918 The relation between spring precipitation and height growth of western yellow-pine saplings in Arizona. *Journal of Forestry*. 16:677-689.
- Squillance, A. E. and R. R. Silen. 1962. Racial variation in ponderosa pine. *Forest Science Monograph* 2. 17p.
- Tappeiner, J. C., Hughes, T. F., and S. D. Tesch. Bud production of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) seedlings: response to shrub and hardwood competition. *Canadian Journal of Forest Research*. 17:1300-1304.
- Tryon, E.H., Cantrell, J. O. and K. L. Carvell. 1957. Effect of precipitation and temperature on increment of yellow-poplar. *Forest Science*. 3(1):32-43.
- Zahner, R. 1962. Terminal growth and wood formation by juvenile loblolly pine under two soil moisture regimes. *Forest Science*. 8(4):345-352.
- Zahner, R. and A. R. Stage. 1996. A procedure for calculating daily moisture stress and its utility in regressions of tree growth on weather. *Ecology*. 47(1):64-74.

CHAPTER 4:

CONCLUSIONS

CONCLUSION

Needle length has yielded promising results as a predictor of top height and site quality in young, unthinned ponderosa pine plantations in Neuquén, Argentina. This study has shown that needle length may be applicable for landowners to use to assess the site quality of their plantations. Furthermore, this study along with work documented by Gonda (1998) clearly demonstrates that this species has adapted well to Patagonia and that its growth rates generally exceed those from its native range.

Future research on needle length will extend this type of site quality assessment to even younger plantations. Prediction of site quality at a young age is advantageous for current and prospective plantation managers since it will allow current owners to project the development of their current plantations and will encourage prospective landowners to plant ponderosa pine where site quality is appropriate in Patagonia.

The importance of precipitation for ponderosa pine productivity in Patagonia is likely to be high. This environmental factor ranges widely across the region where ponderosa pine is being planted, so would be expected to have a profound impact on needle length. Several correlations between needle length and precipitation have previously been made in red pine (Lotan and Zahner 1963; Garrett and Zahner 1973), western yellow pine (Pearson 1918), and yellow-poplar (Tryon et. al. 1958). It therefore seems logical that precipitation is a major determinant of needle length. However, given the current lack of precipitation data in many

remote areas of Argentina where ponderosa pine is planted, it was not possible to collect enough precipitation data for analysis in this study.

As Patagonia, and Neuquén in particular, has successfully established promising exotic plantations to produce wood to meet the world demand, it is now time to begin developing active and intensive forest management practices. Given recently developed environmental laws, organizing and planning forest management activities may not be thought of as critical. Nonetheless, there is a strong need for a regional education and funding plan to promote appropriate thinning regimes, planting densities, and rotation ages. CIEFAP, INTA, and Cor.Fo.Ne are currently developing management strategies for these plantations.

Ponderosa pine plantations are in a highly fire-prone area of Patagonia, and therefore fuel management strategies such as pruning must be actively pursued. Prescribed underburns will likely be a key component to successful, long-term pine management in Patagonia. During the field work for this study in Río Negro, one of the plantations where data had been collected burned in one afternoon. The strong Patagonian winds and dry summers coupled with relatively low annual precipitation places considerable moisture stress on the plantations, leaving them very vulnerable to fire. If plantation forestry is to succeed in Argentina, fire management must be integrated into the overall management strategy.

Long-term planning is also critical since this species has already begun to regenerate beneath itself in heavily thinned areas. It may be more beneficial in the long run (i.e., for this

ecosystem that we have changed and are simultaneously creating) to plant sterile seedlings. As has been seen in Chile and New Zealand, species exhibit different growth patterns when transported from their native range. To protect the native forests of Patagonia and the Andes, controlled planting is advised. This strategy will create planting jobs, preserve native biodiversity and will produce timber at an accelerated rate.

As the world quickly approaches the 21st century, the global demand for wood products is rapidly increasing. Patagonia has an abundance of lands suitable for growing ponderosa pine. Hopefully, this study will provide landowners with incentives to plant more ponderosa pine on their land. Planting will improve personal and societal development while providing their nation and the global market with an essential renewable resource.

BIBLIOGRAPHY

- Andenmatten, E. and F. Letourneau. 1996a. Funciones de intercepción de crecimiento para predicción de índice de sitio en pino ponderosa de aplicación en la región andino patagónica de Río Negro y Chubut. INTA. Río Negro. Argentina. 5p. Unpublished report.
- Andenmatten, E. and F. Letourneau. 1996b. Primeras curvas de índice de sitio y crecimiento en altura para pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. Ex Laws) de aplicación en la región andino patagónica de las provincias de Chubut y Río Negro. Argentina. 7p. Unpublished report.
- Boyer, W. 1970. Shoot growth patterns of young loblolly pine. *Forest Science*. 16(4):472-482.
- Clements, J. 1970. Shoot responses of young red pine to watering applied over two season. *Canadian Journal of Botany*. 48:75-80.
- Cook, D. 1941. Five season's growth of conifers. *Ecology*. 22(3):285-296.
- Cortés, G. O. and G. O. Tarifa. 1995. Metodología de selección de árboles candidatos para la instalación de un huerto semillero de pino ponderosa. *In IV Jornadas Forestales Patagónicas*. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo III. 636-639.
- Cregg, B. M. 1993. Seed-source variation in water relations, gas exchange, and needle morphology of mature ponderosa pine trees. *Canadian Journal of Forest Research*. 23:749-755.
- Colmet Daage F. 1989. Zonificación del potencial forestal de la región Andino Patagónica. INTA-ORSTOM. Buenos Aires. Argentina.
- Diaz, Arnold. 1997. *Forestar en Patagonia*. Informe producido para CIEFAP/GTZ/INTA. Esquel, Chubut. Argentina. 14p.
- Ferrer J.A., Irisarri J.A., and J.M. Mendia. 1990. Estudio regional de suelos de la provincia del Neuquén. Volumen 5 . Tomo I. Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires. Argentina.
- Garrett, P. W. and R. Zahner. 1973. Fascicle density and needle growth responses of red pine to water supply over two seasons. *Ecology*. 54:1328-1334.
- Gonda, H. E. and G. O. Cortés. 1995. Poda baja de pino ponderosa en la Patagonia andina. Utilización de distintas herramientas, proceso de cicatrización y modelos

- preliminares. *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo I. 324-330.
- Gonda, H. E. 1998. Height-diameter and volume equations, growth intercept and needle length site quality indicators, and yield equations for young ponderosa pine plantations in Neuquén, Patagonia, Argentina. Ph.D. dissertation. Oregon State University. Corvallis, OR. USA. 198p.
- Gonda, H. E. 1996. Instalación de un ensayo de raleo y parcelas permanentes en un bosque de pino ponderosa de 19 años de edad en Abra Ancha. CIEFAP-Cor.Fo.Ne. Chubut. Argentina. 4p. Unpublished report.
- Hanover, J. W. 1963. Geographic variation in ponderosa pine leader growth. *Forest Science*. 9(1): 86-95.
- Harrington, T. B. and J. C. Tappeiner. 1991. Competition affects shoot morphology, growth duration, and relative growth rates of Douglas-fir saplings. *Canadian Journal of Forest Research*. 21:474-481.
- Hoepke, E. 1995. Algo de historia forestal patagónica. *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo IV. 725-727.
- Kovalyk, S. et al. 1995. Estudio de la estructura y el crecimiento del rodal N° 2 campo Abra Ancha departamento Aluminé (Provincia de Neuquén). *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo III. 643-650.
- Kozlowski, T. T. 1958. Water relations and growth of trees. *Journal of Forestry*. 56:498-502.
- Kozlowski, T. T. 1963. Growth characteristics of forest trees. *Journal of Forestry*. 61:655-662.
- Kozlowski, T. T., Torrie, J. H. and P. E. Marshall. 1973. Predictability of shoot length from bud size in *Pinus resinosa* Ait. *Canadian Journal of Forest Research*. 3:34-38.
- Laclau, P. 1995. El plan de extensión forestal en la región patagónica. *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo III. 703-707.
- Lotan, J. E. and R. Zahner. 1963. Shoot and needle responses of 2-year-old red pine to current soil moisture regimes. *Forest Science*. 9:497-506.

- Marcolín, A. A. and D. Fiorio. 1995. Aptitud forestal de las tierras de un campo de Lonco-loan (Neuquén). *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo I. 312-317.
- McDonald, P. M., Skinner, C. N., and G. O. Fiddler. 1992. Ponderosa pine needle length: an early indicator of release treatment effectiveness. *Canadian Journal of Forest Research*. 22:761-764.
- Mendia J. M. and J.A. Irisarri. 1986. Relevamiento de suelos con aptitud forestal en la region occidental de la provincia de Río Negro. Consejo Federal de Inversiones (CFI). Expediente 751. Buenos Aires. Argentina.
- Pearson, G. A. 1918. The relation between spring precipitation and height growth of western yellow-pine saplings in Arizona. *Journal of Forestry*. 16:677-689.
- Squillance, A. E. and R. R. Silen. 1962. Racial variation in ponderosa pine. *Forest Science Monograph* 2. 17p.
- Tappeiner, J. C., Hughes, T. F., and S. D. Tesch. Bud production of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) seedlings: response to shrub and hardwood competition. *Canadian Journal of Forest Research*. 17:1300-1304.
- Tarifa, G. et. Al. 1995. Producción de pantas sin repique "Vivero Junín de los Andes". *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo III. 640-642.
- Tarifa, G. et. Al. 1995. Red de ensayo de espaciamientos y raleos campo Nahueve y campo Relem. *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo III. 651-653.
- Tarifa, G. et. Al. 1995. Aprovechamiento de material de raleo en plantaciones de *Pinus ponderosa* y *Pinus contorta* var. *latifolia* mediante la elaboración de postes impregnados en campo Abra Ancha. *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo III. 656-658.
- Tryon, E.H., Cantrell, J. O. and K. L. Carvell. 1957. Effect of precipitation and temperature on increment of yellow-poplar. *Forest Science*. 3(1):32-43.
- van Konynenburg, E. 1995. El significado de las especies forestales exóticas en la región Patagónica. *In* IV Jornadas Forestales Patagónicas. 24-27 October. Edited by Asentamiento Universitario. San Martín de los Andes. Neuquén. Argentina. Tomo III. 733-738.

Zahner, R. 1962. Terminal growth and wood formation by juvenile loblolly pine under two soil moisture regimes. *Forest Science*. 8(4):345-352.

Zahner, R. and A. R. Stage. 1996. A procedure for calculating daily moisture stress and its utility in regressions of tree growth on weather. *Ecology*. 47(1):64-74.