

Alejandro Félix Taquire Arroyo  
Emer Ronald Rosales Solórzano  
Arthur Javier Salas Choquehuanca  
Pablo Cesar Huayllani Huamaní

Potencialidad  
**DENDROCLIMÁTICA**  
de *Alnus acuminata* H.B.K.  
para el Valle del Mantaro

Alejandro Félix Taquire Arroyo  
Emer Ronald Rosales Solórzano  
Arthur Javier Salas Choquehuanca  
Pablo Cesar Huayllani Huamaní

Potencialidad  
**DENDROCLIMÁTICA**  
de *Alnus acuminata* H.B.K.  
para el Valle del Mantaro

 **Atena**  
Editora  
Año 2023



**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo do texto e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Os manuscritos nacionais foram previamente submetidos à avaliação cega por pares, realizada pelos membros do Conselho Editorial desta editora, enquanto os manuscritos internacionais foram avaliados por pares externos. Ambos foram aprovados para publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



# Potencialidad dendroclimática de *Alnus acuminata* H.B.K. para el Valle del Mantaro

**Diagramação:** Ellen Andressa Kubisty  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Autores:** Alejandro Félix Taquire Arroyo  
 Emer Ronald Rosales Solórzano  
 Arthur Javier Salas Choquehuanca  
 Pablo Cesar Huayllani Huamaní

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
P861	<p>Potencialidad dendroclimática de <i>Alnus acuminata</i> H.B.K. para el Valle del Mantaro / Alejandro Félix Taquire Arroyo, Emer Ronald Rosales Solórzano, Arthur Javier Salas Choquehuanca, et al. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.</p> <p>Otro autor            Pablo Cesar Huayllani Huamaní</p> <p>Formato: PDF            Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader            Modo de acceso: World Wide Web            Incluye bibliografía            ISBN 978-65-258-1814-6            DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.146230410">https://doi.org/10.22533/at.ed.146230410</a></p> <p>1. Botánica. I. Arroyo, Alejandro Félix Taquire. II. Solórzano, Emer Ronald Rosales. III. Choquehuanca, Arthur Javier Salas. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 580</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

**Atena Editora**  
 Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
 Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao conteúdo publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que o texto publicado está completamente isento de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



A Dios por darnos la vida, y una familia extraordinaria.

Tengamos fe que la razón es poderosa; y con esa fe,  
avancemos hasta el fin, haciendo la parte que nos  
toca, buscando siempre la verdad.

Autores

A la Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, Unidad de Posgrado de la Facultad.

A la Universidad de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

Al Dr. José Waldemar Cerrón Rojas, docente de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente.

Al Dr. Mario Tomazello Filho, Jefe del Departamento Académico de Ciências Florestais de la Universidad de São Paulo, Piracicaba.

Al Laboratorio de Anatomía, Identificación y Densitometría de Rayos X, por el apoyo para el acondicionamiento de muestras para el estudio anatómico, así como para el análisis de densitometría de la especie en estudio.

Al Laboratorio de Tecnología de la Madera e Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, por el apoyo de sus instalaciones para la confrontación y análisis de datos complementarios del presente estudio.

Al Instituto Geofísico del Perú, Observatorio de Huancayo, por compartir los datos meteorológicos de precipitación y temperatura del Valle del Mantaro.

Al Ing. Jimmy Requena Rojas, por sus aportes en el análisis dendrocronológico de la especie.

A todas las personas, quienes contribuyeron de una u otra forma para la culminación con éxito el presente libro.

La publicación del libro “Potencialidad dendroclimática de *Alnus acuminata* H.B.K. para el Valle del Mantaro”, cumple con el más anheloso alcance y fruto productivo de todo investigador con los resultados de una investigación para impartir a la comunidad universitaria y público en general, que suele llamarse contribución.

Esta publicación tiene alcance significativo y trascendente, porque reúne objetivos de calidad académica y eficacia en el sistema universitario. Asimismo, es importante porque cumple requisitos que marcan una diferencia como producto, para su aceptación en el mercado intelectual. En consecuencia, no solo responde a todos los problemas básicos en su tema, sino que presenta los principios esenciales capaces de guiar en la correcta orientación para el estudio dendroclimático de especies forestales. Su contenido no constituye una obra acabada, es un tema motivador para estudios con mayor profundidad, siendo esta un granito en la inmensidad de alternativas existentes. Los contenidos de sus secciones deben ser interpretadas con avidez y sus temas introduce al lector en el mundo de la dendroclimatología, aplicando modelos para su aprendizaje.

En el libro “Potencialidad dendroclimática de *Alnus acuminata* H.B.K. para el Valle del Mantaro” se ilustra aspectos como dendrocronología en los trópicos, bases teóricas en dendrocronología, características generales y clasificación botánica de *Alnus acuminata* H.B.K., densidad aparente de la madera y densitometría de Rayos X, para luego obtener resultados sobre: Caracterización anatómica de los anillos de crecimiento de *A. acuminata* H.B.K., densitometría de Rayos X para *A. acuminata* H.B.K., potencial dendrocronológico de *A. acuminata* H.B.K. y correlaciones dendroclimatológicas. Esperamos que el aporte de la enseñanza impartida en el presente coseche el reconocimiento en este mundo globalizado y la presente generación sea guiada por las instrucciones del libro. Por ello esta obra cumple con las metodologías para incentivar el desarrollo de las investigaciones dendrocronológicas y construir en el tiempo, nuestras propias tecnologías para el aprovechamiento sostenido de los recursos forestales.

Los autores



<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO I - EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>6</b>
1.1 Descripción de la realidad problemática .....	6
1.1.1. Formulación del problema .....	6
1.2 Justificación, importancia y limitación de la investigación .....	7
1.3 Objetivos de la investigación.....	8
1.3.1 Objetivo general .....	8
1.3.2. Objetivos específicos.....	8
1.4 Hipótesis de la investigación .....	8
1.4.1. Hipótesis fundamental .....	8
1.4.2. Hipótesis derivadas .....	8
<b>CAPÍTULO II - REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>9</b>
2.1. Dendrocronología en los trópicos.....	9
2.1.1. Dendrocronología y factores ambientales .....	14
2.2 Bases teóricas en dendrocronología.....	25
El principio de uniformidad de la respuesta .....	25
El principio de los factores limitantes .....	26
El principio de agregación de los factores ambientales.....	27
Principio de amplitud ecológica .....	27
Principio del lugar de selección .....	28
Principio de datación cruzada o sincronización.....	29
Principio de replicación .....	29
2.3 Características generales y clasificación botánica de <i>Alnus acuminata</i> H.B.K....	30
2.3.1. Descripción general, macro y microscópica de la madera de A. acumi-	

nata .....	32
2.4 Densidad aparente de la madera.....	35
2.5 Densitometría de Rayos X.....	36
2.6 Marco conceptual .....	37
2.6.1. Dendrocronología .....	37
2.6.2. Anatomía de la madera – anillos de crecimiento.....	39
2.7 El Valle del Mantaro .....	41
2.7.1. Ubicación geográfica y límites de la cuenca del río Mantaro.....	41
2.7.2. El Valle del Mantaro en relación al clima .....	43
<b>CAPÍTULO III - MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>50</b>
3.1 Lugar de ejecución .....	50
3.2 Material de estudio, selección y distribución geográfica .....	50
3.3 Características generales del área de estudio .....	51
3.4 Materiales y Equipos.....	52
3.5 Tipo, nivel y metodología de la investigación.....	54
3.5.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	54
3.5.2. Población y muestra .....	55
3.6 Procedimiento .....	55
<b>CAPÍTULO IV - RESULTADOS.....</b>	<b>60</b>
4.1 Caracterización anatómica de los anillos de crecimiento <i>A. acuminata</i> H.B.K...60	
4.2 Caracterización anatómica de fibras de <i>Alnus acuminata</i> H.B.K.....62	
4.2 Densitometría de Rayos X para <i>A. acuminata</i> H.B.K.....	63
4.3 Potencial dendrocronológico de <i>A. acuminata</i> H.B.K.....	68
4.3.1. Cronología master .....	68
<b>CAPÍTULO V - DISCUSIÓN .....</b>	<b>77</b>
5.1 Caracterización anatómica de anillos de crecimiento y fibras de <i>A. acuminata</i> H.B.K.....	77

5.2 Variación de la densidad aparente en el sentido radial y su relación con la estructura anatómica .....	79
5.3 Análisis dendrocronológico de los anillos de crecimiento del leño de <i>Alnus acuminata</i> .....	81
5.4 Correlaciones dendroclimatológicas .....	83
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>86</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>87</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>88</b>



## RESUMEN

La investigación fue realizada en el Laboratorio de Tecnología de la Madera e Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente de la Universidad Nacional del Centro del Perú y el Laboratorio de Anatomía e Identificação da Madeira, Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba São Paulo Brasil. Con la finalidad de determinar el potencial dendroclimático de *Alnus acuminata*, y relacionar con la precipitación y temperatura. Se seleccionaron 25 árboles, para el estudio dendrocronológico de siete localidades del Valle del Mantaro. Del total de series evaluadas el 39.4 % cofechó satisfactoriamente. La metodología utilizada se basó a los programas computacionales de Image-Pro Plus, COFECHA, ARSTAN, (Grissino- Mayer 2001), Sigma Plot, Lista Estándar de la IAWA (1989), previo al uso de los programas las muestras se pulieron con material abrasivo, para delimitar y medir los anchos de anillos de crecimiento, (médula – corteza). Asimismo para el estudio de densitometría se empleó el equipo QTRS-01X, el cual trabaja mediante la tecnología de los rayos X, consecuentemente obtener los diagramas de ancho de anillos y densidad aparente. Entre los resultados tenemos que *Alnus acuminata* presenta potencialidad para abrir posibilidades de relacionar las precipitaciones y temperaturas mínimas locales, siendo muy promisorio para realizar estudios dendroclimatológicos y dendroecológicos en bosques andinos; con una sensibilidad media de 0.452, sobre todo a las bajas temperaturas en la cronología de Jauja (Paca, Julcán y Chunan), con una sensibilidad media de 0.422, para el período 1981 a 2007. La función de correlación, entre la cronología de ancho de anillos de *A. acuminata* con la precipitación mensual de Huayao, muestra que el crecimiento radial se encuentra relacionado con la precipitación mensual de enero del año previo y año corriente ( $r = 0,35$   $p < 0,005$ ) para el período 1949-2009. Así también existe una influencia significativa negativa de la precipitación mensual en el mes de setiembre del año previo en el crecimiento de los árboles; mientras que para la cronología de Jauja la precipitación se encuentra relacionado al término de la estación de otoño e inicio del invierno; en relación a la temperatura mínima mensual existe una significancia positiva en setiembre del año previo y en mayo del año corriente para la estación de Huayao. Asimismo el crecimiento radial se encuentra relacionado positivamente con la temperatura media de la estación de invierno y primavera del año previo. Sin embargo las comparaciones indican que el crecimiento radial de la especie está influenciado negativamente por las temperaturas mínimas de otoño del año previo y corriente. Existe también correlación significativa negativa de la temperatura mínima mensual de agosto-octubre con la cronología entre el período común 1972-2008, al comparar la cronología y la temperatura mínima mensual.

**PALABRAS-CLAVE:** *Alnus acuminata*. Potencialidad dendroclimática. Precipitación y temperatura.

## RESUMO

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Madeira Tecnologia e Forest Industries da Faculdade de Engenharia Florestal e Meio Ambiente da Universidade Nacional da Central Peru e do Laboratório de Anatomia e Identificação da Madeira, Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba São Paulo Brasil. A fim de determinar o potencial dendroclimático de precipitação e temperatura de *Alnus acuminata*. Se utilizou o equipamento QTRS-S baseado no raio X, para obter os diagramas de largura dos anéis e densidade aparente. Foram selecionados árvores para o estudo dendrocronológica de sete cidades do Vale do Mantaro. Do total das series avaliadas, 39,4% foram satisfatórias. A metodologia utilizada baseou-se nos programas de computador de Imagem-Pro Plus, COFECHA, Arstan (Grissino- Mayer 2001), Lista padrão IAWA (1989), antes do uso dos programas, as amostras foram polidas com material abrasivo para definir e medir a largura dos anéis de crescimento (medula-casca). Entre os resultados temos que *Alnus acuminata* apresenta potencial dendroclimático e dendroecológico para abrir possibilidades de ligar as precipitações local e temperaturas mínimas dos ambientes do bosque andino, com uma sensibilidade média de 0,452, para o período de 1981 a 2007. A função de correlação entre a cronologia da largura dos anéis de *A. acuminata* com precipitação mensal de Huayao mostra que o crescimento radial está relacionado com a precipitação mensal em janeiro do ano passado e do ano atual ( $r = 0,35$   $p < 0,005$ ) para o período 1949-2009. Então, há também uma influência negativa significativa da precipitação mensal no mês de setembro do ano anterior no crescimento das árvores; enquanto que para a cronologia de Jauja a precipitação está relacionado com o final da temporada de outono e início do inverno; em relação à temperatura mínima mensal há uma significancia positiva em setembro do ano passado e maio deste ano para a estação Huayao. Do mesmo jeito o crescimento radial encontra-se relacionado positivamente com a temperatura média da temporada de inverno e primavera do ano passado. No entanto as comparações indicam que o crescimento radial das espécies é negativamente influenciado pelas temperaturas mínimas do outono que caem no ano anterior e atual. Há também uma correlação significativa negativa da temperatura mínima mensal de agosto a outubro com a cronologia entre o período comum 1972-2008.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Alnus acuminata*. Potencial dendroclimática. Precipitação e temperatura.

## ABSTRACT

The research was developed at the Laboratory of Wood Technology and Forest Industries of the Faculty of Forestry and Environment of the National University of Central Peru and the Laboratory of Anatomy and Identificação da Madeira, Department of Science Florestais da Escola Superior Agriculture "Luiz de Queiroz", Piracicaba Sao Paulo Brazil. In order to determine the dendroclimatic potential of rainfall and temperature of *Alnus acuminata*. 25 trees were selected for dendrochronological study of seven towns in the Mantaro Valley. Of the total 39.4% evaluated series crossdating successfully. The methodology used was based on the computer programs of Image-Pro Plus, COFECHA, Arstan (Grissino- Mayer 2001), Standard list of IAWA List (1989), prior to use the programs, the samples were polished with abrasive material to define and measure the width of growth rings (pith - bark). Also to study densitometry the QTRS-01X equipment was used, this equipment works by X-ray technology, then draw diagrams of ring width and apparent density. Among the results we have *Alnus acuminata* has potential to open up possibilities of linking local rainfall and minimum temperatures and is very promising for dendroecological and dendroclimatological studies at Andean forests; with an average of 0.452 sensitivity, especially at low temperatures in the chronology of Jauja (Paca and Chunan Julcán), with a mean sensitivity of 0.422 for the period 1981 to 2007. The correlation function between the ring width chronology of *A. acuminata* with monthly rainfall of Huayao shows that radial growth is related to the monthly rainfall in January last year and current year ( $r = 0.35$   $p < 0.005$ ) for the period 1949-2009. So there is also a significant negative influence of monthly rainfall in the month of September before the tree growth year; while for the chronology of Jauja, the rainfall is related to the end of the of autumn season and early winter; in relation to the minimum monthly temperature there is a positive significance in September last year and May this year for Huayao station. Also radial growth is positively related to the average temperature of the winter season and spring last year. However comparisons indicate that the radial growth of the species is negatively influenced by the minimum temperatures of fall during previous and current year. There is also a significant negative correlation of the minimum monthly temperature from August to October with the chronology between the common period 1972-2008, comparing the chronology and the minimum monthly temperature.

**KEYWORDS:** *Alnus acuminata*. dendroclimatic potential, rainfall and temperature.

# INTRODUCCIÓN

Debemos tener en cuenta que la formación de madera es originada por acción del cambium, y este a su vez es responsable del incremento en diámetro del fuste; generalmente las especies de bosques templados poseen anillos de crecimiento anuales debido a la homogeneidad de su clima. Sin embargo en bosques tropicales los anillos de crecimiento pueden ser no periódicos o ausentes a razón del clima muy variado que presenta, sobre todo debido a las precipitaciones. Aunque en los trópicos la dendroclimatología no ha sido ampliamente aplicada debido a la equivocada suposición de que los árboles tropicales no forman anillos de crecimiento anuales (Whitmore 1998), citado por (Ramírez 2007).

Durante mucho tiempo, era casi un consenso entre investigadores de que las especies templadas sólo forman anillos de crecimiento anuales anchos. Los árboles en las regiones tropicales y subtropicales no mostrarían la estacionalidad de la actividad del cambium, las condiciones climáticas son consideradas prácticamente constantes durante el año. Así que no forman anillos de crecimiento anual (Tomazello Filho et al., 2001a). Sin embargo, muchos estudios de investigación han demostrado la existencia de los anillos de crecimiento anuales en especies tropicales y subtropicales, como resultado de la tasa de crecimiento de los árboles; ello sugiere la posibilidad de utilizar herramientas dendrocronológicas para obtener variables sustitutivas (*proxies*) que permitan reconstruir la dinámica del clima pasado regional y responder a importantes preguntas acerca de la variabilidad de la Oscilación del sur y norte, así como el conjunto de teleconexiones climáticas en los lugares donde los datos instrumentales han demostrado su influencia (DETENNE y Mariaux, 1975, 1977; Prévost y Puig, 1981; DETENNE, 1989, 1995; Worbes, 1989, 1995; Worbes y Chatarra, 1989; ; (Worbes 1995, 2002), citado por Ramírez 2007); Botosso y Vetter, 1988, 1989a; Botosso y Vetter, 1991; Luchi, 1998; Fuller, 1999; Mattos et al, 1999; Botosso et al, 2000; Botosso Tomazello & Filho, 2001; Tomazello Filho et al, 2000, 2001a, Mary, 2002; Ferreira, 2002; Dünisch, 2002), citado por (Botosso y Póvoa, 2002).

(Roig et al 2005) estudiando 52 árboles en Yucatán, México, menciona que la existencia de los anillos de crecimiento claros en estos árboles es un prerrequisito clave para realizar nuevos estudios y una demostración convincente del **potencial dendrocronológico** de las especies de árboles tropicales que permitirán el desarrollo de futuros programas de investigación en relación con la ecología de las especies e inferencias acerca de los cambios ambientales pasados detectados a partir de anillos de los árboles. Asimismo (Rodríguez, et al. 2005) menciona que en los primeros estudios dendrocronológicos de esta región identifica varias **especies que tienen potencial dendrocronológico**. Cronologías de ancho de anillos de Palo Santo (*Bursera graveolens*) muestran una respuesta bien desarrollada para la Señal de ENSO en los últimos 50 años y una buena correlación entre sitios. Estudios isotópicos preliminares en Algarrobo (*Prosopis sp.*) también muestran

evidencia de eventos del ENSO 1997-1998, es más estos eventos tienen un fuerte efecto en la variabilidad en el crecimiento de varias especies y por ende en la economía de las comunidades rurales en las que se utiliza la madera para la vivienda, la cocina, muebles, herramientas, forraje y usos medicinales.

Indonesia es una de las pocas regiones tropicales donde las cronologías de anillos de árboles han sido utilizados con éxito para estudiar aspectos del clima (es decir dendroclimatología), incluyendo El Niño - Oscilación del Sur (ENSO) y la asiática monzón. La investigación se ha centrado en la teca (*Tectona grandis*), ya que es de larga vida, desarrolla anillos de crecimiento anual definidos, y es resistente a la pudrición (es decir, buenos atributos para estudios dendroclimáticos). (Bijaksana, S. et al 2007).

Muchos investigadores han estudiado el potencial de cientos de especies de árboles y arbustos. Estas investigaciones han resultado en la publicación de listas de especies usadas en el análisis de los anillos de crecimiento. La primera fue publicada por Fritts (1976), la segunda por Cook y Kairiukstis (1990) y la tercera por Schweingruber (1993). Otra referencia sobre las especies usadas en análisis de anillos es Hughes y col (1982), todos citados por (Beltrán 2013) quienes dieron a conocer detalles sobre el potencial de correlación y referencias biográficas de especies de todos los continentes.

El número y duración de las temporadas secas, cuando la evapotranspiración excede la precipitación, y edáficamente controla la capacidad de agua del suelo para determinar los recursos hídricos disponibles de los árboles individuales y por tanto su actividad fisiológica. Factores topográficos e hidrológicos pueden alterar fuertemente las condiciones climáticas generales, dando lugar a condiciones climáticas propensas a la sequía en las cuencas de la montaña, o a la entrada de agua de temporada o incluso en bosques ribereños de inundación. Por lo tanto, las condiciones de crecimiento pueden alterar de siempre húmedo a casi completamente árido dentro de las áreas descritas bajo el mismo régimen climático. Esto hace los ambientes tropicales más complejos y da lugar a una alta variabilidad espacial y temporal de los patrones de crecimiento de los árboles. (Brauning, 2010).

Cabe mencionar la importancia de los estudios de los anillos de crecimiento que actualmente son empleados en las diferentes ramas de la Dendrocronología; tales como la dendroarqueología y la dendroecología y como sub campos de esta última tenemos: la dendroclimatología, la dendrohidrología, la dendrogeomorfología, la dendroglaciología, la dendroquímica y la dendropirocronología.

## EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

La dendrocronología en zonas tropicales ha logrado progresos sustanciales en los últimos años, como documentado en varios panoramas (Wimmer y Vetter 1999, Roig, 2000a, Worbes 2002). Varios estudios informaron sobre la ocurrencia y la explicación climática de cada año que forman los anillos de crecimiento en *árboles de las especies neotropicales* (por ejemplo Devall et al. 1995, Tomazello Fo et al. 2000, Roig 2000b). Por lo tanto, hay nuevas perspectivas para cerrar brechas importantes en información paleo climática en las regiones tropicales que existen entre las cronologías de anillos de árboles en México (Stahle et al. 1998, Biondi 2001, Cleaveland et al. 2003) y los Andes del sur (Villalba et al. 1997, Roig et al. 2001). El clima muestra una alta variabilidad espacial debido a la compleja topografía (Richter 2003), citado por Bräuning & Burchardt 2008).

(Morales et al 2001), menciona que debido a la escasez de especies con anillos anuales de crecimiento, la dendrocronología de regiones áridas de montañas tropicales y subtropicales está muy poco desarrollada. La reconstrucción ambiental del pasado tiene su base en los registros naturales. Estos, pueden ayudarnos a reconstruir las condiciones climáticas que se dieron en el pasado, pero no todas las fuentes naturales tienen la misma retrospcción en el tiempo. Por tanto el Valle del Mantaro presenta especies arbóreas como *Polylepis sp*, *Alnus acuminata*, entre otras que presentan anillos de crecimiento visibles, lo cual facilitaría realizar estudios para conocer el potencial que presentan estas especies y otras para relacionar con los factores ambientales tales como la precipitación, temperatura y otras.

#### 1.1.1. Formulación del problema

El uso de técnicas dendroclimatológicas en una región o área determinada está dada por especies longevas (más de 100-200 años), con **anillos anuales visibles** y un crecimiento radial influenciado por las variaciones climáticas (Fritts 1976 citado por (Morales et al). La presencia de anillos de crecimiento demarcados es una característica bien definida en el leño de la mayoría de las especies arbóreas y arbustivas que crecen en las regiones templadas y frías donde existe una fuerte estacionalidad climática que induce un período de reposo invernal en el crecimiento. En las regiones tropicales y subtropicales, por el contrario, los estudios dendrocronológicos están fuertemente limitados por el bajo número de especies que producen anillos anuales de crecimiento, la corta longevidad de sus especies y, en general, la baja preservación de la madera muerta Boninsegna y Villalba, 1996, Villalba, 2000, citado por Morales et al (2001); menciona que estudios científicos realizados han permitido obtener valiosos datos a partir de fuentes naturales. Motivo por el cual mediante el presente estudio, planteamos el problema principal preguntándonos:

El porqué, de la necesidad de determinar el potencial dendroclimático de *Alnus acuminata* para relacionar con el historial de precipitación y temperatura.

### **Problema principal**

¿Qué potencial presenta la especie *Alnus acuminata* H.B.K. en el Valle del Mantaro para el análisis dendroclimático y que relación guarda con la precipitación y temperatura?

### **Problemas secundarios**

- ¿Qué potencial manifiesta la especie *Alnus acuminata* para relacionar con la precipitación y temperatura del Valle del Mantaro?
- ¿Qué relación guarda la precipitación y temperatura determinados dendroclimáticamente con los datos meteorológicos reportados por las estaciones meteorológicas?

## **1.2 Justificación, importancia y limitación de la investigación**

En el Valle del Mantaro existen bosques de más de 60 años, tanto con especies nativas y exóticas, motivo por el cual toda esta biomasa debe servirnos entre otros como materia prima para el análisis dendroclimático. Es conocido que nuestro planeta viene afrontando una fuerte contaminación ambiental y es de necesidad tener información de cómo ha ido evolucionando dicha contaminación, tanto del suelo, el aire y el agua. Por lo que teniendo bosques se debería utilizar para reconstruir las condiciones climáticas que se dieron en el pasado en el Valle del Mantaro, sobre todo con especies nativas y en zonas donde no cuentan con estaciones meteorológicas.

La importancia radica, conociendo el potencial dendroclimático de *Alnus acuminata* H.B.K., lograr relacionar la precipitación, la temperatura entre otros factores del clima, así como predecir algunas variables del clima. Resultados de análisis clima-crecimiento muestran una relación positiva entre crecimiento de los árboles y precipitaciones en ciertos períodos del año, lo que indica que la precipitación juega un papel importante en el crecimiento de los árboles. Estos resultados demuestran claramente que análisis de los anillos de árboles se puede aplicar con éxito en los trópicos y que es un método prometedor para diversas disciplinas de investigación. (Brienen y Zuidema 2005).

La limitación que presenta la investigación es que el país cuenta con un pequeño Laboratorio de dendrocronología, desde el año 2001, el mismo que se encuentra instalado en la Universidad particular de Piura. Un grupo de investigadores de esta universidad inició a finales de los 1980's la aplicación de esta ciencia en la región Piura tratando de encontrar el registro del fenómeno climático. A finales del año 2010 la Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, mediante un proyecto de investigación logra adquirir el equipo Velmex para estudios de la cronología de árboles, donde en el año 2012 llegan a realizar el estudio dendrocronológico de 80 especies de selva central del Perú.

## 1.3 Objetivos de la investigación

### 1.3.1 Objetivo general

Examinar el potencial que presenta la especie forestal *Alnus acuminata*, para el análisis dendroclimático del Valle del Mantaro.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- a. Determinar el potencial de la especie *Alnus acuminata* para establecer relaciones entre el ancho de los anillos de crecimiento y el historial de precipitación y temperatura del Valle del Mantaro.
- b. Determinar la relación de precipitación y temperatura determinadas dendroclimáticamente con los reportes meteorológicos existentes para el Valle del Mantaro.

## 1.4 Hipótesis de la investigación

### 1.4.1. Hipótesis fundamental

La especie *A. acuminata* H.B.K. tiene buena potencialidad dendroclimática para el Valle del Mantaro.

### 1.4.2. Hipótesis derivadas

- a. En el Valle del Mantaro existe la especie forestal *Alnus acuminata* con potencialidad para establecer las relaciones entre los anchos de los anillos de crecimiento y la data de precipitación y temperatura.
- b. Existe una estrecha relación entre la precipitación y temperatura, determinados dendroclimáticamente de *Alnus acuminata* con datos de las estaciones meteorológicas del Valle del Mantaro.



## REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Dendrocronología en los trópicos

Los cambios en la precipitación y en la temperatura del aire pueden favorecer el aumento súbito de parásitos que afectan la salud del hombre y los animales. Ese es el caso del dengue, la malaria, la leishmaniasis y la fiebre hemorrágica, entre otras (Gage et al., 2008). Por ejemplo, la muerte de miles de aztecas, tanto antes como después de la llegada de los europeos a México, fue producida por fiebre hemorrágica. Tales mortandades se correlacionaron con megasequías de varias décadas reconstruidas con cronologías de anillos de árboles de cerca de un milenio de extensión y con pictogramas aztecas en los que se encontraba la fecha del evento (Acuña-Soto et al. 2002), citado por (Giraldo, 2011).

Con el fin de evaluar la influencia de la precipitación en el crecimiento de los árboles, se evaluó la relación entre las variaciones climáticas y crecimiento radial de cuatro especies que crecen en diferentes pisos altitudinales: *Juglans australis* del bosque nublado montano a 1800 m; *Alnus acuminata* de la sabana montano-como suelo maderero a 2700 m; *Prosopis ferox* desde suelos secos subalpinos a 3500 m; y *Polylepis tarapacana* desde suelos secos alpinos de alta elevación a 4750 m. Respecto a las cronologías anillos-árboles, las estadísticas utilizadas para medir la calidad de las cronologías indican una señal común en las variaciones interanuales del crecimiento radial entre las muestras individuales que integran cada cronología. La media más alta de sensibilidad es para *Polylepis tarapacana* (0.34), seguido de *Alnus acuminata* (0,30), *Prosopis ferox* (0.28), y *Juglans australis* (0,22). El crecimiento radial de *A. acuminata* está influenciada por la precipitación al inicio del período de crecimiento común (octubre-noviembre). Relaciones inversas entre crecimiento de los árboles de *A. acuminata* y la temperatura son registradas en todo el año, aunque estas correlaciones no excedan los intervalos de confianza. A medida que aumenta la elevación, disminuye la precipitación y es más concentrado durante los meses de verano, (Morales, et al., 2004).

Debido a la escasez de especies con anillos anuales de crecimiento, la dendrocronología de regiones áridas de montañas tropicales y subtropicales está muy poco desarrollada. En este trabajo se evaluó el potencial de la especie arbórea *Prosopis ferox* "churqui", para estudios dendrocronológicos analizando las características anatómicas del leño y las relaciones entre registros climáticos y cronologías de ancho de anillos de una colección realizada a 3500 m, en la quebrada de Huamahuaca (23°13'S, 65°20'O), provincia de Jujuy, Argentina. Las observaciones microscópicas de cortes histológicos muestran que los anillos están claramente demarcados por una banda parenquimática terminal clara. Comparando la cronología estandarizada de ancho de anillos con los registros instrumentales de La Quiaca (22°06'S, 65°36'O), se observan correlaciones significativas con precipitaciones por encima de la media y temperaturas por debajo de la media durante los meses de verano (diciembre-marzo). Esto se interpreta como una

relación positiva con la disponibilidad de agua en el suelo durante el período de crecimiento. Esta cronología representa no solamente el primer registro dendrocronológico desarrollado a partir de *P. ferox*, sino también la primera cronología de anillos de árboles en la provincia biogeográfica pre puneña. La buena discriminación de los anillos anuales de crecimiento, la fuerte relación con variables climáticas, el amplio rango de distribución de la especie en el noreste de Argentina y sur de Bolivia (20° a 25° S) y la longevidad observada en individuos aislados (c. 500 años), hacen de *P. ferox* una especie muy promisoría para estudios dendroclimatológicos y dendroecológicos en desiertos subtropicales de alta montaña. (Morales et al 2001).

El leño en árboles de *Cedrelinga catenaeformis* presentaron anillos de crecimiento distintos, demarcados por una zona fibrosa marcada por serie de filas de fibras con un diámetro radial corto y paredes espesas con una menor frecuencia de vasos, siendo similar a la descrita por la literatura en los árboles de esta especie. Asimismo mostraron tener una relación entre el crecimiento en diámetro del tronco, y la precipitación durante época de lluvias (Enero – Abril y Mayo), indicando su potencial para reconstrucciones climáticas en la Región. (Campos 2009)

Trabajos de investigación sobre dendrocronología tropical han experimentado un sustancial incremento, durante los últimos años. Sin embargo, estos métodos recién comienzan a aplicarse en bosques de territorio boliviano. En este trabajo se presenta la primera cronología de ancho de anillos de crecimiento desarrollada a partir de maderas de *Polylepis pepeí*. Este árbol crece en Bolivia entre los 3700 a 4350 m de altura, en ambientes húmedos de Puna. Muestras de madera fueron tomadas, mediante el barrenado de incrementos. La medición de anillos, perfectamente distinguibles, de 29 radios pertenecientes a una selección de 19 árboles, resultó en series de ancho de anillos para cada radio, que en conjunto correlacionaron a un nivel de 0.55. Esta importante similitud indicaría que el crecimiento de los árboles estaría influenciado principalmente por un solo tipo de estímulo ambiental. La cronología final, de 135 años de extensión, fue correlacionada con registros climáticos, determinándose que la temperatura del verano es el factor que más influye en la variabilidad del crecimiento de *Polylepis pepeí*. Éstos resultados indican el potencial de *P. pepeí* para realizar estudios paleoecológicos y paleoclimáticos en ambientes tropicales fríos y húmedos de la puna boliviana. Para documentar la influencia del clima sobre el crecimiento de *Polylepis pepeí*, la cronología derivada para Río San Jacinto fue correlacionada con los registros climáticos disponibles más extensos y más próximos al sitio de estudio, es decir, las estaciones de altura de las ciudades de la Paz, Potosí, Oruro y Cochabamba, se empleó análisis de correlación simple para establecer el grado de asociación clima/crecimiento, Fritz, (1976), citado por Roig, F. et al (2001).

Investigaciones dendrocronológicas en bosques tropicales han demostrado la presencia de anillos bien definidos en algunas especies, lo que ha facilitado la determinación de su edad (Worbes 1999), y una respuesta en su crecimiento a los cambios

interanuales de las precipitaciones (Dunisch et al. 2003). El ancho de anillos anuales en árboles de *Amburana cearensis*, *Cedrela odorata*, *Cedrelinga catenaeformis* y *Peltogine cf. Heterophylla* fueron utilizados para elaborar cronologías preliminares y éstas comparadas con las fluctuaciones del clima regional. Las variaciones interanuales de crecimiento en la mayoría de estas especies parecen estar fuertemente relacionada con la precipitación. La edad máxima registrada es de 123 años para *C. Catenaeformis* y 308 años para *C. odorata* (Brienen 2005; Brienen y Zuidema 2005; Brienen y Zuidema 2006, citado por Pereyra (2011)).

Huamán (2011), citado por Pereyra (2011) en la investigación sobre “Dendrocronología de árboles de azúcar huayo (*Hymenaea courbaril* L.), en la Región de Madre de Dios (provincia de Tahuamanu)-Perú”, reporta que uno de los factores limitantes del crecimiento es la precipitación, obteniendo mejores respuesta significativas en julio, octubre y noviembre del año corriente.

*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl. Krasser) es una especie caducifolia que domina el límite arbóreo superior de Los Andes de Chile y Argentina entre los 35° 36' y 55° 31' S. En este trabajo se describe el desarrollo de 21 cronologías de ancho de anillos de *N. pumilio* para su rango más austral de distribución (51-55°S) en Chile, así como el análisis de su relación con el clima. Diez de las cronologías de ancho de anillos estudiadas muestran una tendencia al incremento y/o crecimiento sobre el promedio a partir de aproximadamente 1960 hasta 1996, lo cual coincide con un incremento sostenido en la temperatura mostrada por los registros instrumentales de la Patagonia austral. Otra característica particular del crecimiento de los árboles es un notable ciclo de cerca de 7 años presente en tres de los sitios de estudio en la isla Navarino, el área de estudio más austral elegida para el estudio y estudiada por nosotros (55°S). Estos dos patrones de crecimiento representan los principales modos de variación de los registros de anillos de crecimiento de *N. pumilio* en la Patagonia austral de Chile y explican respectivamente el 14 y 28 % de varianza total. Sobre la base de la correlación positiva que se verifica entre el crecimiento arbóreo y la temperatura en varios de los sitios de estudio analizados en este trabajo, se reconstruyen las variaciones de las temperaturas mínimas anuales de Punta Arenas para el período 1829-1996, Aravena, et al (2002).

Las características de la madera de encina (*Quercus ilex* L.) hacen de muy difícil interpretación el patrón de crecimiento anual de esta especie. Con el fin de intentar encontrar un método práctico y al mismo tiempo, fiable para la identificación de los anillos anuales de crecimiento de la encina, se han seguido dos aproximaciones: el estudio de discos enteros de troncos y el de testigos de madera recogidos con barrena Pressler. La utilización de discos plantea dos problemas: por una parte se disminuyen los individuos muestreados y, por otra, con ninguno de los métodos de preparación de la madera (pulido o corte transversal) se aprecian de manera clara los vasos conductores, que son las características más claras para identificar los distintos anillos. Los testigos de madera

tienen la ventaja de que su manipulación es sencilla y que aseguran la supervivencia de los árboles muestreados. Sin embargo, en los tradicionales testigos de 5 mm de diámetro, la presencia de radios medulares que atraviesan la muestra impide la delimitación de los anillos de crecimiento. Este problema se soluciona con la utilización de testigos de madera de 12 mm de diámetro que, una vez cortados, permiten mostrar claramente el patrón de vasos. A partir de los datos obtenidos con muestras de encina de edad conocida pertenecientes a rebrotes muestreados en zonas cortadas o quemadas, se constata que la diferencia entre el número de años y el número de anillos identificados en los testigos de madera es, como máximo, de dos o tres. Esto hace que el método propuesto pueda ser utilizado de manera fiable en el estudio de la edad y del crecimiento de esta especie. (Gené et al 1993).

Diversas comunidades de plantas en el centro de Panamá, cada comunidad localizada cerca de una estación meteorológica, presente árboles con anillos de crecimiento anuales, tales como, *Cordia alliodora*, *Septenatum pseudobombax* y *Annona spraguei*. Datos de anillos de árboles son particularmente valiosos cuando la información meteorológica concomitante está realmente disponible. Los patrones de crecimiento de las especies anteriores de árboles fueron investigados a través de Centro de Panamá en relación con el clima. Un modelo climático global lineal se ajustó a las cronologías de cada especie en tres sitios a lo largo de una gradiente de precipitación. Se realizaron comparaciones entre sitios para ayudar a explicar cómo influencia el clima en el crecimiento del árbol dentro del centro de Panamá (Devall, Parresol y Wright 1995).

La ciencia que se ocupa del análisis de los anillos de crecimiento desde una perspectiva temporal se denomina dendrocronología, mientras que la **Dendroclimatología** constituye una disciplina específica que permite extraer y seleccionar la información de carácter climático contenida en la variabilidad de los datos Dendrocronológicos. Para ello se requiere que estos datos procedan de un conjunto amplio de ejemplares que contengan la mayor varianza común posible que se pueda relacionar con los datos climáticos. La obtención de datos dendrocronológicos de interés para el análisis de las variaciones climáticas se puede desglosar en los siguientes aspectos: **Muestreo**, es uno de los pilares sobre los que se asienta la Dendroclimatología y requiere estudios previos para seleccionar adecuadamente las especies leñosas más longevas y que fisiológicamente constituyan de forma usual un anillo de crecimiento cada año. Asimismo requiere una selección de las localidades donde la sensibilidad climática de los árboles sea la máxima posible (árboles sensibles), habitualmente en áreas marginales del área de distribución o respecto al rango o amplitud ecológica. **Medición y análisis** de las secuencias de crecimiento, se pueden medir diferentes variables (densidad de la madera, porcentajes de isótopos, etc. pero la anchura o grosor del anillo es el dato que más frecuentemente se obtiene. Este proceso se realiza de forma muy precisa tras preparar las muestras mediante cortes o lijado, mediante un equipo semiautomático y programas informáticos específicos. **Sincronización y**

datación, mediante diferentes técnicas visuales, gráficas y estadísticas de comparación por solapamiento entre numerosas series de crecimiento se detectan errores y anomalías hasta conseguir un conjunto de secuencias adecuadamente sincronizadas en las que se puede hacer corresponder cada medición del anillo con el año concreto con el que fue formado, este proceso es otro de los pilares que consiste fundamentalmente en la identificación y corrección de irregularidades como heridas o anillos múltiples. Discontinuos u ausentes. Estandarización, para analizar la variabilidad común de las secuencias de crecimiento datadas, que proceden generalmente de árboles de diferentes edades, (EUITF, 2004).

La reconstrucción de los períodos de recurrencia de sequías y períodos húmedos en una región, constituyen una base de datos fundamental para el análisis de riesgos naturales meteorológicos. Contar con un registro continuo de precipitaciones por períodos prolongados ayuda a reducir la incertidumbre en la toma de decisiones referentes a la planificación, manejo de recursos naturales, y evaluación de impactos de efectos hidrológicos a largo plazo, así como en la toma de medidas de precaución de fenómenos atmosféricos extremos. El estudio de la variación climática basado en datos instrumentales está limitado por la extensión temporal de los registros.

En México, el número de estaciones meteorológicas con registros continuos de más de 100 años de extensión es reducido, lo que limita el desarrollo de estudios de variaciones climáticas de largo plazo. En el presente trabajo se analizó la potencialidad de uso del fresno (*Fraxinus udhei*) en dendrocronología. Se construyó una cronología de ancho total de anillos en la cuenca del río Guanajuato en un período de 160 años que corresponde al período 1846 al 2005. Se utilizaron los programas COFECHA y ARSTRAN para revisar la calidad de los datos y generar la cronología estandarizada respectivamente. Al comparar datos históricos de inundaciones y sequías de la ciudad de Guanajuato con una curva de precipitación reconstruida a partir de la cronología de anillo total indica un uso potencial del *Fraxinus udhei* en paleoclimatología. La curva de precipitación inferida de la cronología de ancho de anillos permitió reconstruir las sequias y períodos húmedos de 160 años en la cuenca del Río Guanajuato, Miranda, et al (2009).

El análisis de los anillos de los árboles ha tenido una gran importancia en muchos tipos de estudios ambientales, tales como la evaluación de la decadencia del bosque, la prognosis ecológica en gran escala y la investigación de tendencias climáticas en periodos que van de decenios a milenios. Los conocimientos deducidos del análisis de los anillos de los árboles son también útiles en la silvicultura y en la industria de productos forestales Wimmer y Vetter, 1999.

La influencia de precipitación y temperatura local a largo plazo y la dinámica de crecimiento en dos especies de árboles de bosques tropicales estacionalmente secos fueron investigadas. El crecimiento anual, en ambas especies, fue depende de la variación anual y / o mensual en la precipitación local, pero no tanto en temperatura. Para cada especie, sin embargo, los patrones de crecimiento reflejan como únicos grados de sensibilidad a

la precipitación mensual y la precipitación durante los años anteriores. (Enquist y Leffler 2000).

### 2.1.1. Dendrocronología y factores ambientales

La medición de anillos, perfectamente distinguibles, de 29 radios pertenecientes a una selección de 19 árboles, resultó en series de ancho de anillos para cada radio, que en conjunto correlacionaron a un nivel de 0.55. La incidencia de la temperatura estival sobre el crecimiento radial en *P. pepeí* presenta similitudes a lo que ocurre con *P. tarapacana*. Este último *Polylepis*, adaptado a condiciones secas y frías, muestra variaciones en su crecimiento anual, relacionadas positivamente con las variaciones de la temperatura de verano. Si bien, las condiciones de humedad difieren tanto para los ambientes de *P. pepeí* y *P. tarapacana*, ambas constituyen las especies de *Polylepis* que crecen a mayor altura en los Andes bolivianos. Por ello el crecimiento radial de ambas especies se encuentra más limitado por las variaciones de temperatura del verano que por cualquier otra variable, es decir que la temperatura de verano es el factor que más influye en la variabilidad del crecimiento de *P. pepeí*, (Roig, et al. 2001).

**Hinostroza D. (2013)** estudiando la caracterización de los anillos de crecimiento de tres especies forestales con fines dendrocronológicos, entre ellos *Alnus acuminata* H.B.K. llega a los siguientes resultados: Anillos de crecimiento: Poco regular, presenta madera temprana y madera tardía notoriamente, promedio de 7 anillos en 2.5 cm. Está constituido por fibras de paredes gruesas y aplanadas radialmente en madera tardía y fibras de paredes delgadas y con lumen amplio en madera temprana. Distinción: visibles a simple vista. Porosidad: la distribución es de semicircular en la parte central de la madera y difusa hacia el extremo de la madera. Delimitación: La delimitación está constituida por 3 a 5 fibras aplanadas radialmente pertenecientes a madera tardía. Dificultades: con dificultad de conteo al extremo de la albura de la madera.

Macroscópicamente la madera es ligeramente diferenciada, cambio de color de albura a duramen gradualmente, olor no específico, superficie sin particular normal, textura fina, vetado, arcos superpuestos en el corte tangencial y en el corte radial bandas paralelas, lustre medio, Grano recto. Poros visibles con ayuda de una lupa de 10X, están distribuidos de forma semicircular a difusa, disposición en padrón radial, agrupados radialmente, de forma ovalada, múltiples radiales. Parénquima no visible con lupa de 10X, radios finos no visibles, no estratificados. Microscópicamente los anillos de crecimiento distintivos, porosidad semicircular a difusa, poros dispuestos en modelo radial, agrupados en múltiples radiales comunes de 4 a más, poros solitarios ovalados, diámetro tangencial de poros de  $55,68\mu$  ( $74,27\mu$ )  $89,54\mu$ , diámetro radial de poros de  $51,21\mu$  ( $79,66\mu$ )  $106,31\mu$ , de 10 - 23 poros por mm<sup>2</sup>. Longitud de elementos vascular de  $366,91\mu$  ( $650,41\mu$  -  $1258,19\mu$ )  $1559,79\mu$ . Platina de perforación escaleriforme con 10 a 20 barras, punteaduras intervasculares

alternos de forma poligonal. Fibras no septadas, longitud de  $634,93\mu$  ( $906,37\mu$  -  $1269,26\mu$ )  $1705,04\mu$ ; parénquima axial apotraqueal difuso, ancho de parénquima radial exclusivamente uniseriados. Radios no estratificados, sin contenido de tálides ni extraíbles.

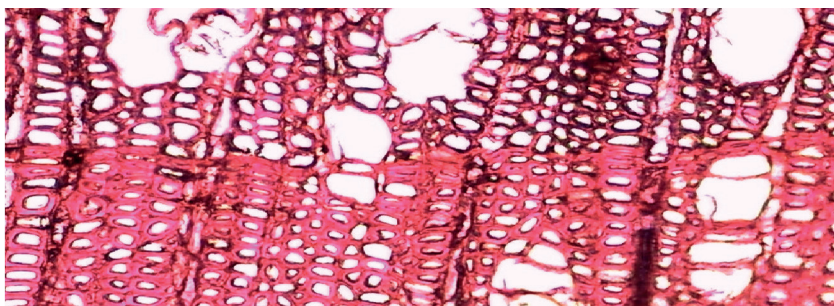


Figura 1: Límite de anillos de crecimiento de *A. acuminata* con regiones de madera temprana y tardía.

El crecimiento en diámetro no solo depende de la edad del árbol y del cambium, sino también de las condiciones ambientales que rodea al individuo como por ejemplo altas temperaturas, sequías, vientos fuertes, cambios de fotoperiodo, precipitaciones, incendios, ataques de agentes patógenos, ataques de insectos, influencias de animales menores y mayores, Acciones humanas como en el caso de raleos, podas, fertilizaciones, riegos pueden todos ellos influir y modificar el patrón de crecimiento en diámetro del árbol. (Díaz, 2003).

La formación de anillos de crecimiento puede responder a ciclos bien marcados en la estacionalidad térmica o hídrica. La estacionalidad termina es la que induce el crecimiento de los anillos en las zonas templadas o fría como es en el caso de las coníferas. Por el contrario, en las regiones tropicales la estacionalidad térmica es nula o muy débil, los anillos de crecimiento resultan de la marcada estacionalidad hídrica. En regiones donde tanto la estacionalidad térmica como la hídrica son débiles, el crecimiento radial sería continuo y teóricamente no se tendría formación de anillos de crecimiento. (López, 2006)

Los anillos de crecimiento en los árboles son inducidos por la alternancia estacional entre condiciones favorables y desfavorables para el crecimiento. (Fritts, 1976; Fahn, et al., 1981; Worbes, 1995; citado por Melandri, et al., 2007)

Elementos de mayores diámetros son producidos por el cambium en primavera (madera temprana) y de menor diámetro y paredes más gruesas en invierno (madera tardía); la actividad de año a año forman los anillos de crecimiento, la formación está relacionada con la disponibilidad fotosintética y presencia de auxinas en el árbol. Es así que de la abundancia de auxinas dependerá la formación de células de grandes diámetros y el desarrollo de paredes celulares gruesas con proceso de fotosíntesis a plenitud. (Shepherd 1964 citado por Vera et al., 2011)



**Tomazello, et al. (2000);** estudiaron los anillos de crecimiento de *Cedrela odorata*, *Cedrela fissilis*, *Cedrela angustifolia*, *Swietenia macrophylla*, y *Toona ciliata* especies pertenecientes a la familia Meliaceae; obteniendo las muestras de bosques naturales como también de forestaciones.

La marcación de estos anillos es nítida, ocasionada por la presencia de parénquima axial inicial con tipo de porosidad semicircular, estas características son el resultado del inicio el ciclo de crecimiento de estas especies. Presentando estacionalidad cambial en relación al comportamiento fenológico y con las condiciones climáticas de las áreas de estudio, que inducen a las formaciones de anillos anuales de crecimiento. La cual hace posible la medición y la determinación de la variación de la densidad de la madera en el anillo y entre los anillos de crecimiento por medio de la densitometría de rayos X. Siendo estos resultados parte del estudio de potencialidad de la familia Meliaceae para estudios dendrocronológicos en regiones tropicales y subtropicales.

**Morales, et al. (2001);** estudiaron a *Prosopis ferox* Griseb, se analizó las características anatómicas del leño mediante las observaciones microscópicas de los cortes histológicos transversales, mostraron que los anillos están claramente demarcados por una banda de parénquima terminal, siendo de color más claro que el tejido fibroso circundante. Estos resultados fueron parte del estudio de potencialidad de *P. ferox*, que analizó las características anatómicas del leño, las relaciones entre registros climáticos y la cronología estandarizada del ancho de los anillos, observó correlaciones significativas. Comparando con los registros climáticos, la fuerte relación con variables climáticas, el amplio rango de distribución de la especie, la longevidad observada en individuos aislados hacen que *P. ferox* sea potencial para estudios dendroclimatológicos y dendroecológicos en desiertos subtropicales de alta montaña.

**López, et al. (2002);** estudiaron los anillos de crecimiento de siete especies arbóreas en un bosque tropical húmedo, de Santa Cruz-Bolivia. Determinaron que *Albizia niopoides*, *Ampelocera ruizii*, *Centrolobium microchaete* y *Pseudolmedia laevis*, tienen anillos de crecimientos delimitados por una banda fina de parénquima terminal, formado al final del periodo de crecimiento (leño tardío), estas bandas de parénquima, visibles y están siempre presentes en toda la circunferencia del leño, en cambio *Cariniana ianeirensis* y *Hura crepitans* tienen anillos marcados por una evidente presencia de una banda de fibras con paredes radialmente aplastadas, en general estas bandas son de color oscuro al límite del leño. En especies como *Ampelocera ruizii*, *Cariniana ianeirensis*, *Hura crepitans*, es común encontrar anillos falsos, como también lentes de crecimiento, aunque mucho más notorios en *Ficus boliviana*. Finalmente en *Albizia niopiades*, *Centrolobium microchaete*, *Pseudolmedia laevis*, no se observó estos tejidos.

**Brien y Zuidema (2003);** realizaron uno de los primeros estudios sobre anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia, proporcionando una revisión de 32 especies maderables con anillos de crecimientos anuales. Mostrando el potencial para



estudios dendrocronológicos, 18 especies maderables presentaron buen potencial, 12 con dificultad y 2 no posibles, las cuales indican la aptitud de estas especies para los estudios dendrocronológicos. Entre las características anatómicas obtenidas fueron, anillos con bandas de parénquima terminal; anillos con bandas de parénquima alternadas; anillos con formación de leño tardío y leño temprano; y anillos con diferentes distribuciones de vasos. Entre las dificultades observadas fueron anillos falsos, anillos que se juntan, bordes de anillos difíciles de distinguir, centro de la madera difícil de distinguir el anillo, bordes de anillos muy delgados.

**Tomazello, et al. (2004);** realizaron el estudio de las características de las zonas de incremento del leño de 41 especies arbóreas del estado de São Paulo, Brasil, siendo analizadas macro y microscópicamente en cuanto a las zonas de incremento (anillos de crecimiento).

Como resultado de esta investigación se obtuvo que 9 de las 41 especies de árboles estudiados, mostraron zonas de incremento distintas y diferenciadas. Las características anatómicas de las zonas de incremento de las 9 especies fueron descritas. De modo general, por fibras radialmente comprimidas de pared gruesa y lúmenes delgadas al final del leño tardío, no obstante en algunas especies las bandas de parénquima marginal también demarcaban los límites de las zonas de incremento. Las zonas de incremento fueron clasificadas en función a la dificultad de visualizarlas: como distinguible, difícilmente distinguibles, indistinguible.

**Argollo, et al. (2004);** caracterizó los anillos de crecimiento de *Polylepis tarapacana* (queñoa) encontrando anillos de crecimiento claramente distinguible en superficies que fueron correctamente pulidas. El límite del anillo está definido por un arreglo de los elementos leñosos, caracterizado por la presencia de vasos más abundantes y de mayor diámetro al inicio de la madera temprana y con una banda de fibras leñosas con paredes celulares más engrosadas al final del anillo correspondiente a la madera tardía. En general los vasos son de diámetro pequeño distribuidos en un patrón semicircular.

La caracterización del anillo de crecimiento fue la primera parte del estudio, luego se determinó la cronología de la especie con ayuda de datos de factores climáticos como la precipitación y la temperatura, con el fin de determinar la potencialidad dendroclimatológica de *Polylepis tarapacana* (queñoa) que habita en el altiplano boliviano y zonas adyacentes de Perú, Chile y Argentina.

**Aguilar, et al. (2005);** estudiaron 29 especies arbóreas de la región de Ocuilán, México. A una altura de 1.30 m se obtuvo una rodaja de 5 cm de grosor que se empleó para realizar los estudios anatómicos y para observar la presencia de anillos de crecimiento. Resultando que el 38% de las especies muestran anillos de crecimiento, los cuales se definen generalmente por presencia de hileras continuas de fibras con las paredes gruesas y lúmenes más pequeños en la madera tardía, mientras que el 62% restante no muestran anillos de crecimiento. El origen fitogeográfico en este estudio mostró una fuerte relación

con la presencia o ausencia de anillos de crecimiento, ya que estos están presentes principalmente en los géneros de origen boreal, pero al mismo tiempo el clima homogéneo de Ocuilán parece favorecer la ausencia de dichos anillos en la mayoría de las especies.

**Roig, et al. (2005)**; estudiaron las características dendrocronológicas de 52 especies de árboles del bosque semitropical de la península de Yucatán, México.

Como resultado se obtuvieron que el 35% de las especies muestran distintos anillos de crecimiento. La mayoría de estas especies están delimitadas por bandas de parénquima marginal representando el 51% de las especies, 11% están delimitados por diferencia de diámetro entre vasos de madera temprana y madera tardía; y 25% están delimitados por diferencias en las fibras de paredes gruesas y radialmente aplastadas, en madera tardía y de paredes delgadas en fibras de madera temprana, y el 13% restante representan la combinación de ambas características.

**Valencia, G. (2011)**; estudió 40 especies forestales tropicales con valor comercial y analizó el potencial para su aplicación en estudios dendrocronológicos; provenientes de las provincias de Satipo y Chanchamayo. Para el estudio se consideró las normas COPANT 30: 1-019, Normas Técnicas Peruanas (NTP) 251-008 y la Lista Estándar de la IAWA (1989).

Las características que utilizó para determinar la potencialidad de las especies fueron distinción de los anillos de crecimiento, tipo de porosidad, transición de zonas fibrosas y traqueídas, disposición de parénquima; teniendo como base la investigación realizada por **(Campos, et al. 2008)**.

Entre los resultados tenemos que 13 especies presentan “buen” potencial dendrocronológico. Mostrando entre sus características anillos distintos, porosidad difusa, la transición en las zonas fibrosas es abrupta y parénquima marginal.

Este artículo revisa y resume los resultados de las investigaciones en el Instituto Forestal de Oxford sobre la presencia de los anillos de crecimiento estacional en la madera de uno de los géneros de mayor distribución de África en las zonas áridas, *Acacia*. Los límites de los anillos están marcados por parénquima marginal fino que contiene pequeños cristales de oxalato de calcio. Los anillos son generalmente anuales y son producidos en la estación lluviosa. El ancho del anillo está relacionado con la precipitación y/o temperatura mínima. **(Gourlay 1995)**.

Propiedades de la fibra de la madera (longitud de fibra, ancho de fibra, espesor de la pared celular y diámetro de lumen), física (densidad seca al horno) y propiedades mecánicas (módulo de ruptura, módulo de elasticidad, compresión paralela al grano) de cuatro especies latifoliadas tropicales (*Terminalia superba* (Ofram) y *Terminalia ivorensis* (Emere), así como especies maderables actualmente amenazadas y *Quassia undulata* (Hotrohotro) y *Recinodendron heudelotii* (Wama) como especies de madera menos utilizadas fueron investigadas para medir y comparar sus propiedades maderables como sustitutos potenciales. Árboles normales de cada especie fueron seleccionados y muestras de trozas fueron cortadas de la parte media de la altura del tallo para determinar las propiedades.

El estudio reveló que, las densidades, compresión paralela al grano, módulo de ruptura y módulo de elasticidad de *Ofram* y *Hortrohotro* fueron no significativo, pero que de *Emere* y *Wama* fueron significativas. (**Journal of Energy and Natural Resources 2014**).

Los métodos de dendrocronología mediante extracción de muestras del incremento han sido refinados en este estudio para uso específico en el norte de las llanuras ribereñas de California. Hay poca información disponible sobre dendrocronología ribereña debido al desafío del análisis de especies de árboles ribereños. Tres especies de árboles dominantes (*Alnus rubra*, *Umbellularia californica*, *Acer macrophyllum*) en la llanura de Redwood Creek fueron evaluados para relacionar entre la edad y diámetro a la altura del pecho (DAP), utilizando análisis de regresión lineal de mínimos cuadrados. A través de este estudio, tuvimos complicaciones con el análisis para especies de árboles ribereños en cuanto a la mejora de la calidad de muestra y visibilidad de los anillos de crecimiento anual, llevado en una investigación a fondo. Como fueron refinados los métodos de extracción de muestras, mejora el anillo, la calidad de muestras y análisis. La correlación de determinación tanto para aliso rojo y laurel California eran fuertes ( $R^2 = 0,957$ ;  $R^2 = 0,982$ , respectivamente). Fuertes valores  $R^2$  sugieren para DAP pueden ser determinados para aliso rojo, y laurel California usando ecuaciones de regresión lineal específica para cada especie. Modelo de regresión lineal de hoja ancha Arce tienen un valor inferior determinación de correlación ( $R^2 = 0,452$ ). Modelos de regresión de Arce de hoja grande pueden incrementar el valor de  $R^2$  con más muestreos. Ecuaciones de regresión lineal para el aliso rojo y laurel de California son adecuados en toda la cuenca para simplificar la dendrocronología por requerimiento solamente midiendo el diámetro de árboles. Las ecuaciones de regresión de este estudio informan para la planificación de la edad de restauración de las llanuras en la parte baja de la cuenca del Redwood Creek, obviando otros medios más destructivos y costosos de datos de hábitat. Proyectos futuros de restauración en esta cuenca pueden aplicar este método refinado de estas especies para reunir información pertinente histórica de las condiciones ambientales. Las ecuaciones pueden ser también aplicables al aliso rojo y laurel California en otras cuencas con condiciones ambientales similares, que requiere solo unas pocas muestras de tarugos de árbol para determinar su aplicabilidad. El método refinado de dendrocronología también puede mejorar extracciones de muestras de árboles de otras especies de árboles con anatomía de maderas similares. (**Barry D. 2014**).

Las tasas de producción de *Pino taeda* (*Pinus taeda* L.) en ambientes exóticos favorables indican que el total de expresiones biológicas de crecimiento potencial en *Pinus taeda* aún no ha sido alcanzado en su área de distribución natural. En anterior trabajo, la alta productividad en una plantación de pino de incienso en Hawaii (HI) fue hipotizado para ser relacionado a un clima más favorable conducente alrededor del año la ganancia de carbono. Para comprender mejor el rol del clima en limitar el crecimiento de *Pinus taeda*, se examinaron las relaciones entre el crecimiento radial y el clima en *Pinus taeda* maduro creciendo en dos sitios que representan los extremos latitudinales opuestos de su nicho

ecológico, Mississippi (MS) y Carolina del Norte (NC), y en un tercer sitio en Hawaii (HI) representan un ambiente exótico más favorable. Los anchos de anillos de crecimientos nuevos estuvieron sin tendencia en cronologías construidas para cada sitio. En el sitio del norte, el índice del ancho de los anillos (RWI) se correlacionó positivamente a temperaturas de febrero, abril y julio, la temperatura media anual del año en curso y el anterior, y la temperatura máxima anual. En árboles de MS, la única correlación significativa entre el crecimiento y el clima fue una correlación positiva entre RWI y temperatura de noviembre. El crecimiento en el sitio MS fue probablemente más impactado por los huracanes frecuentes. En árboles HI, no se observaron correlaciones significativas entre el crecimiento y la temperatura pero RWI fue significativamente relacionado con las precipitaciones durante la estación seca, los cuales ocurrieron a partir de mayo a septiembre. El potencial de alteraciones anatómicas en las zonas de transición entre madera temprana y tardía y el tiempo de formación de madera temprana y tardía se indicó y puede dar cuenta de la baja gravedad específica del anillo y el porcentaje de madera tardía en árboles de HI. Las temperaturas moderadas en el lugar de HI probablemente apoyaron la alta productividad, pero la sensibilidad a la precipitación en árboles HI indica que la reducción en la disponibilidad de agua pueden afectar el crecimiento de *Pinus taeda*, incluso en bajas temperaturas a más moderadas cuando la demanda evaporativa es baja. (Samuelson et al 2013).

Mendivelso, et al., (2014) constató una fuerte respuesta en el crecimiento de la madera de las especies de los géneros *Centrolobium*, *Acosmium*, *Caesalpineia*, *Zeyheria*, *Anadenanthera* y *Tabebuia*, ocurridos en el bosque seco tropical de Bolivia, en función de las precipitaciones durante los meses comprendidos dentro de la temporada de lluvias (noviembre a marzo ) a excepción de *Aspidosperma* en donde que la mayor correlación se produjo entre abril y mayo, durante la transición de la estación húmeda a seca. La precipitación en cantidades adecuadas influye positivamente en el crecimiento de los árboles, pero cuando se encuentra en exceso o escasez puede resultar en la reducción del crecimiento, citado por (Rosada de Oliveira, 2014).

Los estudios reportan que aunque las temperaturas caen durante este periodo la reducción de lluvia es mucho mayor, resultando en déficit hídrico en los meses de transición del período seco para el lluvioso, como consecuencia de los árboles tienden a tener una caída en el crecimiento (Lobao, 2011; Chagas, 2009).

Las plantas pueden ser expuestas a una variedad de tensiones, que surjan de fuentes biológicas y no biológicas, durante su crecimiento y desarrollo y en su tiempo de vida. Estos factores pueden invocar respuestas similares, o respuesta de la planta puede ser específico para un factor de estrés. Por ejemplo, una mayor deposición de sustancias fenólicas en los sitios de invasión de hongos. El estrés salino se sabe que inducen a la actividad de peroxidasa (Jbir et al. 2001) y la síntesis de lignina. El ejemplo más reciente de esto es un aumento del espesor de pared y la lignificación en fibras ha desarrollado en respuesta a heridas (Schmitt et al. 2006), Por otra parte, la deficiencia de cobre (Downes et

al. 1991) y déficit de agua (Vincent et al. 2005) causa una reducción en el nivel de lignina y la lignificación de la pared celular. En árboles de *Pinus radiata* que experimentan grave sequía se ha relacionado a la lignificación anormal de las paredes celulares (Donaldson 2002), citado por (Lee, Singh y Kim, 2007).

Los impactos de las heladas y los daños de las heladas pueden ser importantes y afectar a casi toda la vegetación en un bosque. En algunos casos, el daño por heladas puede ser grande suficiente para llevar a mortalidad. Sin embargo, en pocos casos en que no se observa la mortandad de los árboles, los anillos de helada, presentan una interna deformación celular de las células producido en un anillo de crecimiento anual, puede formarse como resultado de daño externo severo. Este evento de helada fue reportado como inicio a la defoliación significativa y externa daños de álamos (*Populus tremuloides* Michx.). (David B. K. Pedersen, 2010).

Daños por heladas interna es más difícil de determinar porque los árboles sometidos a heladas podría no formar un anillo de helada, una deformación celular interna de las células ocurre en un anillo de crecimiento anual (Figura 2). Adicionalmente pueden también formar anillos claros, o anillos que tienen células débilmente lignificada en madera tardía están formados normalmente por temperaturas de la temporada de crecimiento más frías que promedio (Filion et al 1986; Gindl 1999; Gurskaya y Shiyatov 2006). Hay una cantidad limitada de literatura disponible sobre el equilibrio de daños exteriores relacionados con daños internos. Por ejemplo, si un árbol de hoja caduca que iba a ser completamente deshojado, la formación de anillo de heladas es probable que la formación de un anillo de helada depende más de ciertos criterios de temperatura estando satisfecho? La interacción entre el aire frío y la superficie del árbol no es homogénea a través de toda la circunferencia y puede ser afectada por numerosas variables como la topografía, área basal, y la exposición; por consiguiente, la presencia de un anillo de helada es una función de cómo se ve afectado el aire frío de los diferentes lados de la superficie del árbol dañado. De hecho, Rhoads (1923) señaló que los anillos de heladas eran comúnmente llamados «anillos de la luna», ya que carecen con frecuencia de la circunferencia total del anillo de crecimiento anual.



Figura 2. Fotografía del anillo de heladas (flecha negro) y floema correspondiente, cambium, y la mortalidad de albura (flecha blanca). (Sinclair y Lyon 2005), (David B. K. Pedersen, 2010).

El enlace de la humedad del suelo y la temperatura es indiscutible; con el incremento de las temperaturas, las precipitaciones probablemente tendrían que aumentar para mantener el actual nivel de humedad del suelo en lo que podría ser un futuro más cálido (Nydick 2009), citado por (Pedersen, 2010). Esta disminución la disponibilidad de humedad también es probable que afecte el calendario de apertura de las yemas para muchas especies arbóreas.

Anillos de helada son formados en los tallos de los árboles cuando crecen en estación de heladas afectan a las células inmaduras de madera, produciendo células colapsadas dentro de los anillos anuales de los árboles. En bosques boreales abiertos son más susceptibles a registrar crecimiento-estaciones de helada debido a que ellos pierden el efecto invernadero comúnmente observados en bosques cerrados; (Payette, Delwaide, and Simard, 2010). Las características más notables de un anillo de heladas son la deformación de traqueídas, la curvatura de los radios y el posterior desarrollo de tejido de callo (Schweingruber, 2007), citado por (Payette, Delwaide and Simard 2010).

Características anatómicas y estructurales de la madera observados y medidos en anillos de árboles han demostrado ser útil en la dendrocronología. Ellos han incrementado el entendimiento y nuevas perspectivas a los procesos a través de los árboles con características estructurales que han demostrado vínculos con los parámetros medio ambientales, no dados por otros parámetros. Este artículo también incluye nuevos resultados de un estudio llevado a cabo en las montañas del este-Ore de Alemania, donde diversas características anatómicas en anillos de los árboles creciendo bajo tensiones severas fueron medidas. Ello muestra cómo los cambios ambientales han causado modificaciones o adaptaciones de caracteres estructurales en el fechado de anillos de los

árboles. La medición de muchos caracteres estructurales en anillos de árboles sigue siendo tedioso, aunque para algunas características tal como el tamaño de células o el ángulo de la microfibrilla de escaneo rápido mediante dispositivo ahora están disponibles. En general, anatomía de la madera indica que el crecimiento y desarrollo de los árboles son procesos dinámicos. Cada planta individual, a través de su estructura de células, tejidos y órganos, con sus relaciones espaciales y estados fisiológicos, trae un gran almacén de información sobre su vida pasada y el medio ambiente. (Wimmer, 2002).

Factores que influyen en la formación de un anillo de crecimiento; la actividad del cambium vascular está regulada por factores genéticos y ambientales. La anatomía del xilema es específico de la especie, pero también sujeto a modificaciones por el medio ambiente (Telewski, Lynch 1991). El cambio más visible en anatomía es regulada y mediada por reguladores de crecimiento de la planta es el cambio en el tamaño de células. Normalmente el xilema de coníferas producidas al principio de la temporada de crecimiento está compuesto de células con diámetros relativamente grandes y paredes delgadas. El xilema producido más tarde en la estación de crecimiento está compuesto de células con diámetro pequeño y paredes celulares gruesas. Estas características podrían variar bajo condiciones severas durante la estación de crecimiento tales como la escasez en disponibilidad de agua, el crecimiento de brotes rubores (Larson, 1969), lesiones del árbol (Kramer, Kozlowski 1979) o variaciones en la temperatura (Schweingruber 1980), citado por (Wimmer 2002).

Los factores genéticos determinan la estructura básica de anillos-árboles. La estructura anatómica de la madera en general de especies arbóreas es constante, y se utilizan en la identificación de la madera. Sin embargo, hay una cierta variabilidad de estructuras que están sujetas a modificaciones a través del ambiente. El tamaño y la forma de las células pueden cambiar, el número y tipos de células y caracteres, o características específicas ocurren en aquellos “normalmente” no vistos. Tres temas destacados de la anatomía de la madera y árboles-anillos fueron revisados y discutidos: la respuesta del crecimiento de los árboles es función de la ecología, la contaminación del aire y el clima. (Wimmer 2002).

Características estructurales de madera son de gran utilidad en ecología y en ello es Fritz Schweingruber quién ha añadido una vasta cantidad de conocimientos en este campo. Sus libros *Tree-rings y el medio ambiente–Dendroecología* y el más recientemente *Anatomía de la Madera Dendroecológica* (publicado en alemán) son documentaciones de hasta qué punto esta ciencia ha llegado (Schweingruber 1996, 2001), citado por (Wimmer 2002).

Mediante el reconocimiento en la estructura anatómica alterada en anillos de árboles, el cual podría estar perdido en la madera tardía, bandas intra-anales de densidad, colapso celular, heridas, tejido de callo, madera de compresión, formación de abundante conductos de resina, fallas mecánicas del tejido (grietas) y otras características (Tabla 1),

ciertos eventos pueden ser datables en el año.

Tabla 1: Características continuas y discontinuas que pueden ser medidos o contados en datación de anillos-árboles

Características árboles-anillos	
Características continuas	Características discontinuas
Ancho de anillos	Ductos de resina
Proporción de madera tardía	Anillos de helada
Características de densidad (densitometría)	Grietas radiales
Angulo de las micro fibrillas	Fluctuación de la densidad
Proporción y altura de radio	Anillos falsos
Espesor de pared	Colapso de célula
Diámetro de célula	Tejido por herida
Proporción de tejido	Madera de compresión
Longitud de fibra	Médula de varios colores

Otros eventos son la defoliación a través de los insectos que se manifiesta como la formación del anillo falso; médula con manchas en anillos de árboles de *Alnus*, *Betula*, *Corylus* y *Salix* través de insectos cambium-mineras.

Para todos estos ejemplos, el cambio en las estructuras anatómicas es proporcionar marcadores de tiempo de los procesos ecológicos. Para la evaluación retrospectiva de la transparencia de la copa como un componente clave de la salud de los bosques, el análisis de los rastros tipo aguja (Fig. 3) en la madera tiene demostrado ser útil.



Figura 3: Sección transversal de una huella acicular en madera de Abeto Sección tangencial 20 (μm), por M. Grabner, Institute of Botany, Vienna).



Schweingruber (1996a) sugirió estudiar el impacto del rayo en el crecimiento del árbol. Hartig (1897) tiene ya demostrado que la formación de callos, cicatrices, forma ductos de resina traumáticos y células colapsadas pueden ser encontradas en árboles afectados por un rayo. Según Kucera et al. (1985), un rayo provoca una rápida pérdida de agua en la madera, lo cual causa que las células en el más reciente anillo-árbol formado colapse. La investigación también documentó que el análisis de la anatomía de la raíz ayuda a estimar las tasas de erosión del suelo o la fecha debido a los deslizamientos de tierra exposición repentina o gradual de las raíces. Tales eventos podría facilitar las reacciones de crecimiento abrupto o la formación de más conductos de resina, la formación de vasos de diferentes formas o radio más grandes (La Marche 1968), citado por (Wimer, 2002).

Mariaux (1967) fue el primero en plantear un método para demostrar la anualidad de los anillos de crecimiento, el cual consiste en realizar marcas del cambium vascular (heridas), que dejan una cicatriz en la madera con fechas conocidas y luego se corrobora un año o años después, mediante observaciones macro y microscópicas de una sección transversal, o muestra de barreno, tomada a la altura de la herida del árbol en cuestión. Este método es conocido como Ventanas de Mariaux (Worbes 1999, López *et al.* 2006, Lisi *et al.* 2008). Con este método, Mariaux determinó la anualidad de los anillos de importantes especies maderables de África tropical, citado por (Giraldo, 2011).

## **2.2 Bases teóricas en dendrocronología**

### **El principio de uniformidad de la respuesta**

Este principio establece que los procesos físicos y biológicos que rigen los actuales procesos ambientales se relacionan con los patrones de crecimiento de los árboles y han operado desde el pasado, es decir, “el presente es la clave del pasado” (original de James Hutton, 1785). Sin embargo, dendrocronológicamente hablando a este principio, se le ha adicionado: “el pasado es la clave del futuro”, en otras palabras, modelando las condiciones ambientales que operaron en el pasado, podemos predecir y administrar aquellas que se presentarán en el futuro.

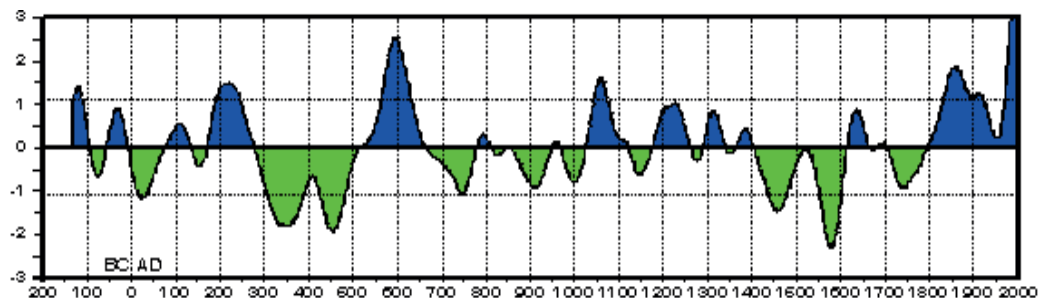


Figura 4: Reconstrucción de precipitaciones en el norte New Mexico (USA) a partir del anillado de los árboles (Henri D. Grissino - Mayer, Ultimate Tree Ring Web Page, 1996. <http://web.utk.edu/~grissino/>).

Fuente: Rodríguez y Fernández (2009).

## El principio de los factores limitantes

Sostiene que la tasa de crecimiento de una planta se encuentra condicionada por la variable ambiental primaria más limitante. Incluso, podemos decir que dicha variable ambiental o **factor limitante** frecuentemente actúa sobre otros factores no climáticos.

En regiones áridas y semiáridas la precipitación es a menudo el factor más limitante para el crecimiento de plantas y, por tanto, para la formación de anillos. En estas regiones, el crecimiento del árbol no puede proceder más rápidamente que lo permitido por la cantidad de precipitación, haciendo que el ancho de los anillos y con ello el volumen de madera producido sea una función de la precipitación. En otros lugares, como en las altas latitudes, la temperatura es el factor limitante que afecta la tasa de crecimiento de los árboles.

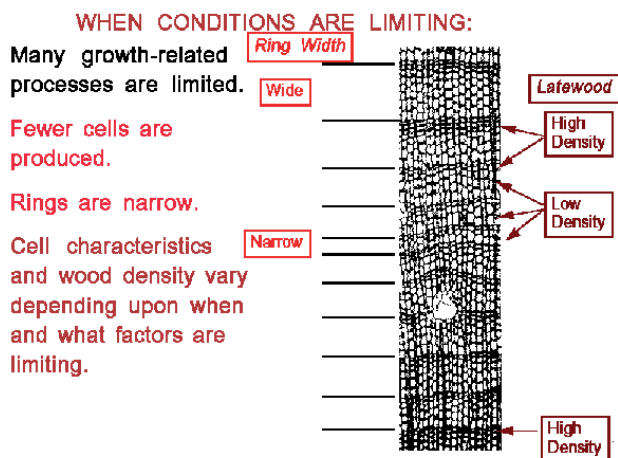


Figura 5: Los procesos en las plantas son afectados por el factor ambiental más limitante (lluvia, temperatura, etc). (Henri D. Grissino - Mayer, Ultimate Tree Ring Web Page, 1996. <http://web.utk.edu/~grissino/>).

Fuente: Rodríguez y Fernández (2009).

## El principio de agregación de los factores ambientales

Este principio establece que cualquier serie individual que modela el crecimiento de los árboles en el tiempo puede ser “descompuesta” en un conjunto de factores ambientales. De modo que, podemos expresar en términos matemáticos el crecimiento del anillado del árbol ( $R$ ) en un año “ $t$ ” cualquiera, apreciando que está compuesto por varios factores, entre los que podemos mencionar:

$$R_t = A_t + C_t + \delta D_{1t} + dD_{2t} + E_t$$

$A_t$ : La tendencia de la edad relativa de crecimiento debido al proceso de envejecimiento fisiológico normal.

$C_t$ : El clima que se presenta durante ese año.

$D_1$ : La ocurrencia de factores endógenos, es decir, relativos únicamente al propio árbol como individuo.

$D_2$ : La ocurrencia de factores exógenos, es decir aquel disturbio externos que afecta a todos o un grupo importante de individuos.

$E_t$ : Valor aleatorio (error) por los procesos no considerados debido a la influencia de otros factores.

La letra griega  $d$  delante de  $D_1$  y  $D_2$  asume el valor de “0” ó “1” según indique ausencia o presencia de la señal de disturbio, respectivamente. Por consiguiente, para maximizar la señal ambiental deseada, los otros factores deben ser minimizados. Por ejemplo, ***si deseamos maximizar la señal climática, la tendencia de la edad relativa debe ser anulada, así como los procesos ecológicos internos y externos que podrían haber afectado el crecimiento de los árboles.***

## Principio de amplitud ecológica

Este principio determina que una especie es más sensible a los factores ambientales en los límites latitudinales y de elevación de su rango de hábitat. Por ejemplo, el Pino Ponderosa (*Pinus ponderosa*) tiene una amplitud ecológica extensa, debido a que es la especie de pino más ampliamente extendida en Norteamérica. Recíprocamente, el Gigante Secoya (*Sequoiadendron giganteum*) que crece en áreas restringidas de la ladera oeste de Sierra Nevada en California, tiene por consiguiente, una amplitud ecológica estrecha.

Este principio es importante porque frecuentemente las especies de árboles utilizados en dendrocronología se encuentran en los límites de su rango natural. El diagrama abajo muestra para diferentes tipos de bosque su incremento en altura a lo largo de la ladera de una montaña. Para maximizar la información climática disponible en los anillos del Pino ponderosa (*Pinus ponderosa*), por ejemplo, se tomarían muestras de árboles en su límite latitudinal más bajo alrededor de 7000 pies (2130 metros).

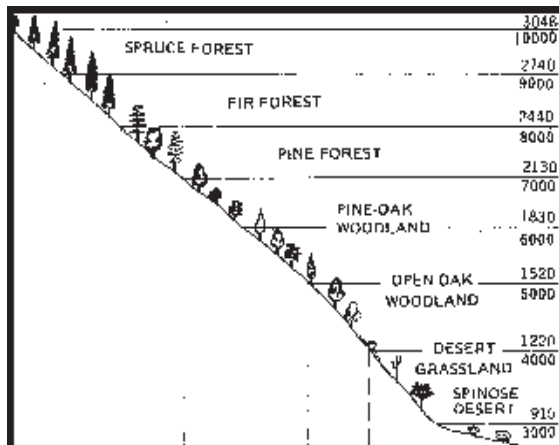


Figura 6: Amplitud ecológica de diferentes especies según los incrementos en altura a lo largo de una montaña. Fuente: Henri D. Grissino - Mayer, Ultimate Tree Ring Web Page, 1996. <http://web.utk.edu/~grissino/>

## Principio del lugar de selección

Este principio establece que para fines de estudio dendrocronológico se debe identificar y seleccionar aquellos lugares que produzcan series de anillo sensibles a los cambios ambientales que están siendo examinados, a fin de maximizar dichas señales ambientales. Por ejemplo, aquellos árboles que son especialmente sensibles a condiciones de sequía pueden usualmente ser encontrados donde la lluvia es limitada por ejemplo en afloramientos rocosos, o en la cima de las montañas. Por tanto, un dendrocronologista interesado en condiciones de sequía pasadas tomaría muestras intencionalmente en localidades donde el suministro de agua sea limitado.

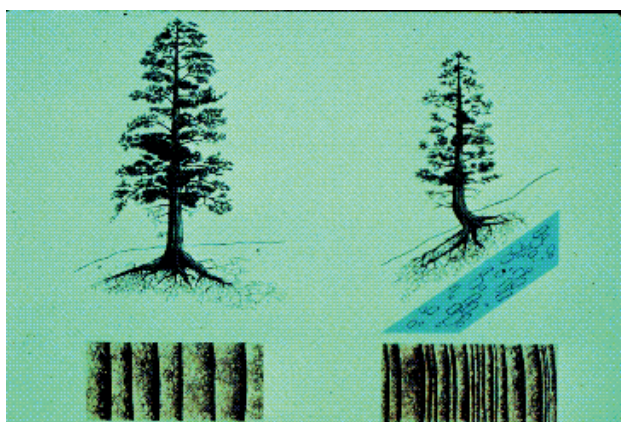


Figura 7: Lugares donde la variable ambiental a estudiar sea maximizada. (Henri D. Grissino - Mayer, Ultimate Tree Ring Web Page, 1996. <http://web.utk.edu/~grissino/>).

## Principio de datación cruzada o sincronización

La datación cruzada es considerada el principio fundamental de la dendrocronología; ya que sin la precisión que de ella se obtiene, la información sobre el anillado de los árboles no sería más que un simple recuento de anillos.

Esta sincronización se basa en los cambios anuales del macroclima; puesto que todos los árboles padecen estos cambios macroclimáticos, algunos años se notan en todas las secuencias. De tal manera que, si se hace coincidir la secuencia de los anillos entre muchas series de crecimiento de árboles se puede identificar el año exacto en el cual cada anillo fue formado. Por ejemplo, uno puede fechar la construcción de una casa antigua, comparando los patrones de crecimiento de los árboles a partir de madera tomada de la casa con patrones de crecimiento de árboles vivientes.

Adicionalmente, esta sincronización permite detectar otro tipo de errores como la ausencia en la formación de un anillo, producto de un periodo de sequía en el que el árbol no crece y por tanto no se crea ningún anillo, u otra circunstancia.

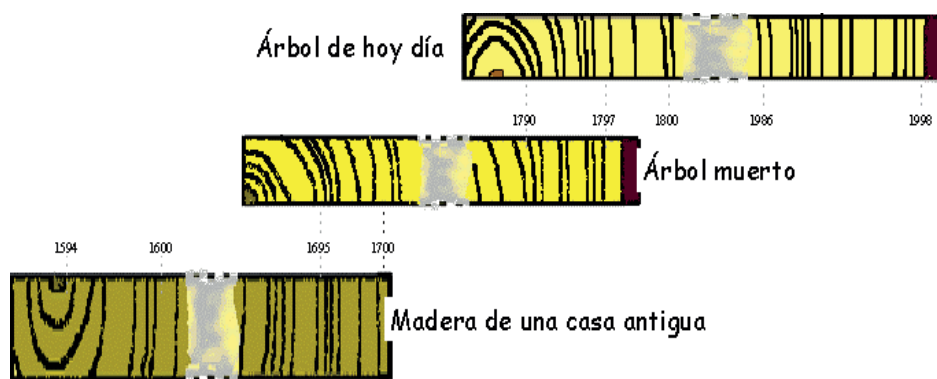


Figura 8: Sincronización de anillos de crecimiento. Fuente: Javier Herrera, La dendrocronología: Un medio básico para conocer la historia de nuestros bosques, Euskonews & Media N° 22, 1999.

Fuente: Rodríguez y Fernández (2009).

## Principio de replicación

Según este principio se puede maximizar la señal medioambiental que está siendo investigada reduciendo al mínimo la cantidad de “disturbio”. Para lograrlo, se toman muestras de más de un radio del tallo por árbol, y más de un árbol por sitio, es decir diferentes réplicas de un centro de incremento por árbol, de tal manera que reducimos altamente la cantidad de “variabilidad intra – árbol” (señal medioambiental no deseable). Más aún, si se obtienen numerosas muestras de árboles de un lugar y quizás desde muchos lugares en una región, se puede asegurar que la cantidad de “disturbio” (factores ambientales que no están siendo investigados, como la contaminación del aire) sea mínima.

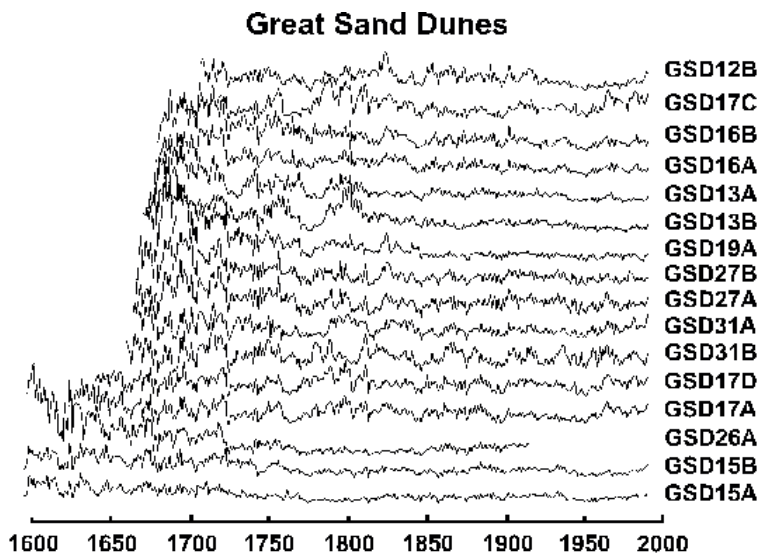


Figura 9: Disturbio de un conjunto de muestras. Fuente: Henri D. Grissino - Mayer, Ultimate Tree Ring Web Page, 1996. <http://web.utk.edu/~grissino/>

Fuente: Rodríguez y Fernández 2009.

### 2.3 Características generales y clasificación botánica de *Alnus acuminata* H.B.K.

*Alnus acuminata* H.B.K. (Aliso de los Andes) es considerado generalmente ser la única especie *Alnus* en Los Andes (FurLOW, 1979; Gentry, 1993). *A. acuminata* se distribuye desde el sur de México (~17 ° de latitud norte) al noroeste de Argentina (~28 ° de latitud sur) en las zonas montañosas de América Central y Los Andes. En Ecuador y Perú, *A. acuminata* se produce a partir de 1500 a ~3400 m de elevación m en el bosque nublado de montaña, donde los rangos de precipitación desde 350 mm a > 3000 mm anuales y temperaturas anuales son 4-27 ° C (FurLOW, 1979; NAS, 1980; Young, 1991; Davis et al, 1997). Debido a su capacidad de fijación de nitrógeno y tolerancia luz, *A. acuminata* puede prosperar en suelos casi esqueléticos; es una especie pionera siguiendo la perturbación, y a menudo es encontrado a lo largo de las laderas de barrancos y pequeños arroyos (FurLOW, 1.979). *Alnus acuminata* es de rápido crecimiento y utilizado como fuente de leña por personas de la localidad, madera para la construcción, y para el control de la erosión en suelos empinados e inestables (Holdridge, 1951; NAS, 1.980; Young, 1991; Gentry, 1993). *Alnus* es un productor de polen abundante y suele ser uno de los tipos polínicos más abundantes en los Andes moderno o fósiles conjuntos de polen (por ejemplo FurLOW, 1979; Grabandt de 1980, 1985; Hansen y Rodbell, 1.995; Weng et al., 2004), citado por (Weng et al., 2004).

Generalmente mide de 15 a 20 metros de altura, su corteza es de color gris claro, a

veces plateado con lenticelas visibles y frecuentes. Al crecer en lugares húmedos, su fuste es recto y algo cónico con diámetros hasta de 70 cm.; pero en zonas secas es frecuente la presencia de troncos múltiples, torcidos y con abundantes ramas que nacen desde la base. Geográficamente está distribuida en eco regiones de la serranía esteparia y la ceja de selva, en formaciones de bosque montano nublado y bosques sub-húmedos; se encuentra en toda la sierra peruana desde Cajamarca hasta Puno, en Ancash y Junín (Valle del Mantaro). Esta especie se adapta bien entre los 2500 a 3300 msnm (Sierra central), aunque crece desde los 1200 a 3800 msnm, puede tolerar temperaturas entre 7 a 20°C. La madera en condición húmeda es de color crema amarillenta, seca al aire adquiere una tonalidad amarilla rojiza, no hay diferencia entre albura y duramen. En el corte transversal se puede observar los anillos de crecimiento como bandas oscuras regulares concéntricas. (Reynel et al 2007, citado por Taquire y Paucar 2011).

El aliso (*Alnus acuminata*, Betulaceae) es un árbol pionero que domina bosques riparios de montaña en los Andes orientales. Estudios iniciales atribuyeron la presencia de estos bosques a las típicas condiciones microclimáticas de cauces de ríos, pero luego estos fueron vinculados al régimen periódico de disturbios de ríos de montaña. Para comprender la dinámica de estos bosques, analizamos la estructura de edades y el arreglo espacial de árboles en dos parcelas sobre el río Potrero y otra parcela sobre el río La Horqueta, en la provincia de Tucumán, noroeste argentino. Mediante barrenado intensivo y reconstrucción de edades identificamos cohortes de árboles con un rango máximo de edades de ocho años. El mapeo de árboles y el índice de autocorrelación espacial I de Moran indicaron que las cohortes de árboles estaban agrupadas en espacio, proporcionando evidencia adicional de que los parches coetáneos de *A. acuminata* resultan de eventos de regeneración masiva luego de crecientes catastróficas. Evaluamos la asociación entre años de inicio de cohortes y registros regionales de descarga máxima de ríos por medio de aleatorizaciones y encontramos evidencia débil de que los establecimientos ocurren luego de crecientes devastadoras que eliminan la vegetación preexistente y originan sitios desnudos propicios para la regeneración del aliso. Las fechas de cicatrices de crecientes en árboles del río Potrero preceden por un año al inicio de la cohorte más reciente y dan respaldo adicional a esta conexión. A pesar de que estudios previos encontraron una correlación positiva entre eventos de El Niño y promedios de precipitación en el noroeste argentino, nuestros datos no revelan una asociación significativa entre El Niño y caudales máximos anuales en ríos de la provincia de Tucumán. Se requieren más estudios para identificar los factores que originan crecientes devastadoras y cohortes de *A. acuminata*. (Easdale, Sabaté y Grau 2005).

El aliso es un árbol nativo de Los Andes que crece entre los 1500 y 3000 m.s.n.m., a las orillas de los ríos y quebradas de las principales cuencas hidrográficas de Mérida Tachira y Trujillo, en ciertas épocas el follaje se ve afectado por el daño que le causan dos escarabajos comedores de hojas. Durante varios años se han realizado observaciones

de insectos que dañan al follaje de los árboles de aliso, *Alnus acuminata* (Betulaceae) encontrándose con frecuencia la presencia de dos insectos de la familia Chysomelidae *Adorea cruentata* Lefebre (Eumolpinae) y *Lilopphaea sp.* (Galerucinae). Estos dos insectos no compiten por el alimento en el mismo lugar, sino que mantienen sus poblaciones en dos cuencas separadas. (Briceño 2002).

El aliso, se clasifica taxonómicamente de la siguiente manera:

Reino:	Plantae
Sub reino:	Tracheobionta
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Sub clase:	Hamamelididae
Orden:	Fagales
Familia:	Betulaceae
Género:	<i>Alnus</i>
Especie:	<i>acuminata</i>

Taxonómicamente *Alnus acuminata* es sinónimo de:

*Alnus arguta* (Schltdl.) Spach;

*Alnus acuminata* var. *Spachii* Regel;

*Alnus ferruginea* var. *Aliso* Lorentz & Hieron. Ex Winckler;

*Alnus jorullensis* var. *Acuminata* (Kunth) Kuntze

*Alnus pringlei* Fernald;

*Alnus acuminata* H.B.K.

*Alnus jorullensis* H.B.K. (Sánchez et al 2009).

### 2.3.1. Descripción general, macro y microscópica de la madera de *A. acuminata*

Diferenciación entre albura y duramen ausente. Color seca al aire, la madera presenta un color rosado (7.5 YR 8/4). Veteado poco definido. Textura de mediana a fina. Olor imperceptible. Brillo opaco. Tipo de grano ondulado y poco de tipo entrecruzado. Anillos de crecimiento marcado por un ligero engrosamiento de las fibras. Densidad de la madera seca al aire es de 0,43 g/cm<sup>3</sup> por lo que se clasifica como moderadamente liviana. Macroscópicamente los vasos son ligeramente visibles a simple vista, de tamaño medio, poros en su mayoría solitarios y algunos múltiples radiales de 2 a 3 células en sentido radial, de mediana abundancia, porosidad difusa, con una tendencia a formar pequeñas líneas



radiales y no se observan gomas o tílides dentro de los vasos del duramen. Parénquima axial visible con aumento de 10X y de tipo apotraqueal difuso escaso. Parénquima radial apenas visible con aumento de 10X, de ancho medio, se observan radios de dos anchos, de abundancia media y no estratificado.

Microscópicamente la madera presenta porosidad difusa, distribución tiende a formar cadenas radiales. Agrupamiento exclusivamente solitarios, en promedio 85% (73 – 94) y múltiples y radiales de 2 – 3 células. Frecuencia poco numerosos, promedio de 16 poros/mm<sup>2</sup> (14 – 19). Longitud cortos promedio de 150  $\mu$ m (94 – 342). Diámetro pequeño, promedio de 75 (61 – 87). Engrosamiento helicoidal de las paredes ausentes. Apéndices presentes en ambos extremos y tamaño medio. Platinas de perforación escaleriformes oblicuas de 10 – 20 barras. Gomas ausentes. Tílides ausentes. Presencia de cristales no se observa. Punteaduras intervasculares simples, alternas, ovaladas, diámetro mediano, sin presencia de ornamentaciones. Fibras con septos de 1 a 3 por fibra. Punteaduras diminutas a bordeadas diminutas. Dimensiones fibras de largo medio, en promedio 1,02 mm (0,94 – 1,59), diámetro de 35  $\mu$ m (23 – 47) y diámetro de lumen 23  $\mu$ m (12 – 35). Presencia de cristales ausente. Estratificación ausente. Parénquima radial, tipo no estratificado, se observan radios en agregados. Estratificación ausente. Dimensiones altura de 10 – 27 células, altura promedio de 299  $\mu$ m (111 – 375) y ancho promedio de 8  $\mu$ m (4 – 10). Frecuencia media, en promedio de 5 radios/mm (4 – 6). Tipo de células heterocelulares con una fila de células rectangulares en los extremos (arriba y abajo) y en la parte central células procumbentes. Presencia de cristales ausente. Parénquima axial tipo apotraqueal difuso, escaso de células tipo seriado. Tipo de células de 5 a 8 células por filamento. Estratificación ausente. Presencia de cristales ausentes. Traqueídas vasicéntricas con septos en poca cantidad. Engrosamiento helicoidal de las paredes indeterminadas. Punteaduras areoladas con abertura ovalada. (Moya et al 2010).

Para conocer las tendencias en anatomía ecológica de la madera de un bosque mesófilo de montaña, se estudiaron 29 especies arbóreas entre ellos *Alnus acuminata* de la región de Ocuilan, Estado de México. Los resultados sugieren que el clima homogéneo de la zona influye en la ausencia de anillos de crecimiento en la mayoría de las especies; al mismo tiempo se observó una relación estrecha entre los anillos y el origen fitogeográfico de la taxa. Con respecto a los demás caracteres anatómicos, existe un elevado porcentaje de maderas con porosidad difusa, elementos de vaso medianos y largos, con diámetros pequeños y placas de perforación escalariforme; fibras largas con paredes delgadas, de tipo libriforme, o fibrotraqueidas con presencia o no de septos; el parénquima axial es escaso y los radios son heterogéneos, de tipo I. Estos caracteres se discuten desde un punto de vista ecológico y evolutivo.

Los bosques mesófilos de montaña en México poseen una elevada riqueza de plantas leñosas, las cuales representan casi la mitad de la flora total reportada para este tipo de vegetación (Rzedowski, 1978, 1996). Sus especies arbóreas poseen una gran

variación en fenología, altura de los individuos y arquitectura foliar (Luna-Vega *et al.*, 1999). También se les considera ecosistemas extremadamente diversos y heterogéneos en los aspectos florísticos, taxonómicos y en sus afinidades geográficas (Rzedowski, 1978, 1996; Luna-Vega *et al.*, 1989, 1999, 2001). Como ejemplo de ello en estas áreas se presentan elementos arbóreos de origen boreal, tropical y asiático, mientras que otros se conocen como endémicos de México (Rzedowski, 1996). A pesar de la alta diversidad y la heterogeneidad taxonómica que existe entre los bosques mesófilos de montaña, en nuestro país el estudio anatómico de la madera de sus especies no ha sido interpretado desde una perspectiva ecológico-evolutiva. Investigaciones de este tipo se han realizado en floras regionales de diversas partes del mundo como en Norteamérica (Baas y Carlquist, 1985; Carlquist y Hoekman, 1985; Guthrie, 1989), Europa (Baas y Schweingruber, 1987) y Sudamérica (Lindorf, 1994; Alves y Angyalossy-Alfonso, 2000, 2002); en éstos se sugiere que algunos tipos anatómicos de la madera se ven favorecidos en determinados ambientes físicos. Además, la relación entre factores ambientales y ciertos atributos anatómicos de la madera de material genéticamente diverso ha permitido elaborar hipótesis sobre las estrategias adaptativas y el origen de la diversidad anatómica de la madera en el curso de la evolución (Baas y Miller, 1985). En este sentido, se ha observado que las floras leñosas pueden manifestar en su conjunto uno o varios caracteres que son interpretados como retenidos o evolucionados, independientemente de que las especies pertenezcan a un taxón poco o muy especializado (Versteegh, 1968). Para México este tipo de interpretaciones son escasas (Barajas-Morales, 1985) y para los bosque mesófilos de montaña no existen. A partir del estudio de los caracteres anatómicos de la madera de 29 especies arbóreas de un bosque mesófilo de montaña en México, la presente investigación se ha planteado como propósito dar a conocer algunas tendencias anatómicas de los elementos de la madera, relacionándolas con el clima del área de estudio y con algunos aspectos evolutivos.

Los datos obtenidos de las maderas de Ocuilan mostraron algunas tendencias anatómicas que relacionamos con algunos aspectos climáticos y evolutivos. La presencia de anillos de crecimiento es un carácter complejo ampliamente estudiado pero aún no totalmente aclarado (Panshin y de Zeeuw, 1970; Metcalfe y Chalk, 1989); ha sido utilizado para la interpretación del clima (Fritts, 1976; Fahn, 1978; Wimmer y Grabner, 2000) y es afectado por cambios ambientales drásticos como sequías y heladas (Wimmer y Grabner, 2000). En las zonas tropicales húmedas la actividad cambial generalmente es continua a lo largo de todo el año, por lo que la mayoría de las especies pueden no formar anillos de crecimiento evidentes, o desarrollarlos de manera inconspicua, como sucede en climas donde la estacionalidad no es muy marcada (Wheeler *et al.*, 1995), citado por (Aguilar y Barajas 2005).

En condición seca al aire, no hay diferencia entre albura y duramen, son de color crema. Anillos de crecimiento muy poco diferenciados. Grano recto textura fina y brillo medio. Veteado, arcos superpuestos y bandas paralelas. Madera con peso específico básico de

0,41 y albura susceptible al ataque de insectos. Madera de porosidad difusa. Poros visibles con lupa 10X, múltiples radiales y solitarios escasos de forma oval; con 8-18 poros/mm<sup>2</sup>. Parénquima no visible. Radios visibles con lupa 10X con 14 a 20/mm, no estratificados. El diámetro tangencial varía de 58 a 86  $\mu\text{m}$  y la longitud entre 230 y 461  $\mu\text{m}$ . Platina de perforación muy inclinada con perforaciones escaleriformes. Punteado intervascular alterno con puntuaciones poligonales y abertura inclusa de forma lenticular. Punteado radiovascular similar a la intervascular. Parénquima apotraqueal difuso, no estratificadas. Presencia de células cristalíferas septadas. Radios homogéneos, uniseriados, no estratificados. Altura entre 192 y 442  $\mu\text{m}$ . Fibras libriformes, puntuación areolada, no estratificada. El diámetro total 20  $\mu\text{m}$ , el grosor de pared celular 3  $\mu\text{m}$  y la longitud varía entre 653 y 998  $\mu\text{m}$  (Acevedo y Kikata, 1994).

## 2.4 Densidad aparente de la madera

Debido a su relación con otras propiedades, la densidad de la madera es el principal parámetro de calidad de la madera. Modernos métodos y precisos tal como la densitometría de rayos-X, son aplicados para determinar la distribución espacial de la densidad en secciones de madera para evaluar la calidad de la madera. La densidad de la madera está relacionada a sus propiedades físico-mecánicas y anatómicas y afecta a las propiedades de secado de la madera de melina (Muñoz y Moya, 2008; Moya y Muñoz, 2008; Moya y Tomazello, 2007a, b). La variación de la densidad se produce a través dirección radial, a lo largo de la dirección longitudinal del tallo y dentro de los anillos (Espinoza, 2004; Moya y Tomazello, 2007a). La variación en densidad de la madera puede deberse a los tratamientos genéticos, fisiológicos, o silviculturales (Muller-Landau, 2004). Por otro lado, las variaciones en el ancho y densidad de los anillos anuales han sido ampliamente aplicados como estimaciones de las condiciones climáticas del pasado (Fritts, 1976). En general los incrementos anuales de crecimiento-árboles integran los efectos de las condiciones del clima diario, semanal o mensual condiciones en toda la estación de crecimiento.

Diferentes métodos han sido desarrollados para medir la variación de la densidad de la madera en los anillos anuales, a lo largo o a través del tallo. Sin embargo, la densitometría de rayos X ha sido usado para determinar la variación de densidad de la madera (Schinker et al, 2003); y también para acceder a más información acerca de la formación de la madera, procesos fisiológicos, la cantidad o proporción de los diferentes tipos de células, y los arreglos espaciales (Koga y Zang, 2004). Este método fue introducido primero en el campo de análisis de la madera por Polge (1963); por otra parte, ello fue desarrollado por diversos investigadores (Polge, 1978), citado por (Moya y Tomazello, 2008).

La densidad de la madera es considerada una de las propiedades físicas de mayor importancia, resultado de la integración de las características anatómicas (dimensión, frecuencia de las células) y químicas (contenido de extractivos). Es utilizada en la

clasificación de la madera, posibilitando estimar las demás propiedades del leño (Hoadley, 2000), siendo determinada por la masa en relación al volumen (Decoux; Varcin; Leban, 2004) citados por (Rosada de Oliveira, 2014).

La densidad de la madera constituye una de las propiedades físicas más importantes de la madera que mejor define sus cualidades para la obtención de tal o cual producto final (Zobel y Jett, 1995). Se encuentra a su vez asociada a otras propiedades, tanto físicas como mecánicas (Andía y Keil, 2004). Las variaciones en las dimensiones de la madera, son consideradas propiedades físicas importantes debido a que pueden limitar algunos usos (Coronel, 1994) citados por (Roussy, et al 2013).

Influyen en la densidad del leño de los árboles, su edad, genotipo, tratamiento silviculturales, localización geográfica, disponibilidad hídrica, factores climáticos, etc. La densidad de la madera varía entre diferentes partes de los árboles, en los sentidos, longitudinal y radial del tronco (Barnett y Jeronimidis, 2003).

(Lima et al., 2011), estudiando plantaciones de árboles de *Cariniana legalis* de diferentes procedencias en el mismo lugar, constató que la densidad básica no presentó tendencia significativa de variación en el sentido médula-corteza. El perfil radial anatómico de los árboles de *C. legalis* en el DAP mostró que los primeros años de formación del leño los anillos de crecimiento son más estrechos y menos claros, mostrando un crecimiento lento al inicio de formación de los árboles. Después de los primeros años, la delimitación fue más visible y el ancho de los anillos aumentó, citado por (Rosada de Oliveira, 2014).

## 2.5 Densitometría de Rayos X

La densitometría de rayos X es una de las técnicas desarrolladas por (Polge 1963), citado por (Rosada de Oliveira 2014); donde se obtienen valores de densidad aparente del leño a intervalos micrométricos (40  $\mu\text{m}$ ), se analizan variaciones entre e inter-anillos de crecimiento. Schweingruber (1990) indicó que la técnica de densitometría mostró ser adecuada para analizar las variaciones de densidad aparente del leño en anillos de crecimiento anuales. Puede ser aplicada en estudios de genética, fertilización, irrigación, ataque de hongos e insectos, factores climáticos y del suelo, etc., y relaciona con la estructura y la calidad de la madera (Tomazello Filho, Chagas; Roque, 2005), citado por (Rosada de Oliveira 2014). En los últimos años, diversos estudios han sido hechos sobre la aplicación de la densitometría de rayos X en especies tropicales comprobando la eficacia de la técnica.

Medida de la densidad de la madera. En un anillo hay variaciones en la relación peso/volumen originadas por capas de células diferentes en su forma, tamaño o espesor de sus paredes celulares.

En un densitograma se representa gráficamente como varía la densidad de la madera a lo largo de un radio en una muestra de madera.

Un método para medir la densidad de la madera es la radio densitometría, la cual consiste en hacer radiografías de la madera en cortes finos de un testigo de madera o de discos del tronco comparándolas con una cuña de calibración.

**Concentración isotópica**, en la estructura leñosa del anillado de un árbol también se mide concentración isotópica de algunos elementos químicos como hidrogeno y oxígeno. En la actualidad, el método más empleado para verificar la anualidad de los anillos de crecimiento de árboles tropicales es el análisis del contenido de  $^{14}\text{C}$  de la madera; este es un marcador isotópico muy importante para datar la fecha de formación de productos orgánicos (Stuiver *et al.* 1981, Worbes & Junk 1989), citado por (Giraldo, 2010).

## 2.6 Marco conceptual

### 2.6.1. Dendrocronología

La dendrocronología convoca la atención de especialistas en estudios de productividad forestal, reconstrucción de la variabilidad climática, evaluación del incremento de  $\text{CO}_2$  atmosférico, contaminación, fechado de maderas arqueológicas, incidencia de ataques de insectos, movimientos de suelo, etc. Dada esta diversidad de aplicaciones de la dendrocronología las ramas de esta ciencia también son diversas. (Kaennel y Schweingruber 1995). La dendrocronología es un campo de estudio que ha sido ampliamente utilizado en Restauración de la ecología como evidencia histórica para hacer predicciones de posibles cambios en el futuro. Como disciplinas asociadas la ecología y la restauración son más a fondo investigados, técnicas y enfoques integrales para mejorar la calidad de datos y precisión (Hall et al. 2011). La dendrocronología es el estudio de la edad de los árboles por medio del examen de anillos de los árboles. Allí se tienen los intentos de utilizar el análisis de anillos de árboles para el pronóstico ecológico, para resolver a gran escala problemas de la cuenca (Cook y Kairiukstis 1990). Los anillos de los árboles son una fuente valiosa de información sobre el ecosistema en el que crece. Ellos pueden indicar no sólo la edad de un ecosistema, sino también el cambio climático (Fritts y Dean 1992), (citado por Barry Devin 2014).

La dendrocronología como ciencia multidisciplinaria ha alcanzado un elevado nivel de especialización, importancia y aplicación mediante la incorporación de los conocimientos y las técnicas de diversas áreas en el cual tienen una estrecha relación, como anatomía y química de la madera, fisiología de los árboles, genética forestal, silvicultura, climatología, hidrología, estadística, etc. (Tomazello, Botosso, Lisi, 2001).

#### a. Dendroarqueología

Campo de la dendrocronología que utiliza anillos de los árboles fechados para investigaciones arqueológicas. Fue una de las primeras aplicaciones de la Dendrocronología.

Por ejemplo para la determinación del periodo exacto de cuándo un árbol fue derribado, transportado, trabajado y usado en la construcción de edificios u objetos.

## **b. Dendroecología**

Es la rama de la dendrocronología que utiliza el anillado de los árboles para estudiar problemas ecológicos y ambientales. Por ejemplo, para examinar los factores que influyen en el ecosistema; como por ejemplo el cambio de crecimiento derivado del aumento del CO<sub>2</sub> del último siglo, las interrelaciones de los árboles entre sí, como competencia, estructura de edades, relación edad / diámetro, mortalidad, etc. Así también, fenómenos relacionados a la dinámica de los bosques como infestaciones con insectos, aparición de determinadas plagas, aumento de poblaciones de animales que comen o ramonean partes de los árboles, efectos de la actividad humana, etc.

Son sub campos de la dendroecología: (1) Dendroclimatología, (2) Dendrohidrología, (3) Dendrogeomorfología, (4) Dendroglaciología, (5) Dendroquímica y (6) Dendropirocronología.

**Dendroclimatología.-** Un subcampo de la dendroecología que analiza los anillos de los árboles datados para reconstruir y estudiar el clima del presente y del pasado.

**Dendrohidrología.-** Un subcampo de la dendroecología para investigar y fechar la dinámica del entorno acuoso; cambios en la hidrología del sitio, cambios en el curso de un río, inundaciones periódicas, crecidas, cambios en el nivel de lagos, represamientos de ríos y cambios en los procesos erosivos de sus márgenes.

**Dendrogeomorfología.-** Para fechar los procesos de la superficie terrestre; movimientos del suelo como hundimientos, deslizamientos de tierra, cambios de pendiente, caída de rocas, avalanchas de barro, erosión del suelo al nivel de raíces, etc. La dendrosismología es un subcampo de la dendrogeomorfología.

**Dendrosismología.-** Los efectos de sismos y terremotos que registran los árboles, se evidencian por los daños físicos que producen tales eventos. Así tenemos que en los anillos de crecimiento se presentan anillos ausentes, rupturas en la superficie o fraccionamientos. Por otro lado, las dislocaciones que sufren las capas producen daños en la estructura del árbol, como resquebrajamiento de las raíces, regiones de tensión, inclinación del árbol, etc.

**Dendroglaciología.-** Para investigar y fechar la dinámica de los glaciares de antes y de ahora; cambios en el frente de los glaciares, tanto por avance como por retracción, avalanchas, daños producidos por nevadas extraordinarias.

**Dendroquímica.-** Investiga cuestiones químicas en la estructura del anillado de un árbol, especialmente metales pesados, contenido isotópico, etc. Tiene especial desarrollo la Dendroisotropía la determina y analiza el contenido isotópico en la celulosa de la madera.

**Dendropirocronología.-** Para investigar y fechar la dinámica de los incendios naturales de antes y de ahora.

### **Anillos de crecimiento**

Son bandas concéntricas o casi concéntricas compuestas de distintas proporciones de tejidos, tamaño y morfología de células, otra definición manifiesta que un anillo de crecimiento es un manto continuo de células, en forma de cono que se superpone a los anillos ya existentes. (Núñez, 2008).

Cuando se observa la sección transversal de una pieza de madera se puede distinguir una serie de círculos concéntricos los cuales reciben el nombre de anillos de crecimiento o zona de incrementos de crecimiento. (León y Espinoza, 2001)

La sección del tallo del árbol está constituida por anillos finos y anchos. Cada año se agrega un anillo de bajo de la corteza. El espesor de cada anillo define el crecimiento radial del tallo de un determinado año. Este conjunto de anillos constituye el anillado del árbol, en donde queda registrado los factores ambientales que influyen en el crecimiento. (Fahn, 1978).

Un árbol puede ser considerado como un instrumento capaz de registrar todos los fenómenos que ocurren en el medio que lo rodea y que influyen en las características de los anillos de la madera que genera, afectando su ritmo de crecimiento.

### **Estructura del anillado de los árboles**

La sección del tallo de un árbol está constituida por anillos finos y anchos. Cada año se agrega un anillo debajo de la corteza. El espesor de cada anillo define el crecimiento radial del tallo en un determinado año. Este conjunto de anillos constituye el anillado y en el quedan registrados los cambios ambientales que influyen en dicho crecimiento.

### **Parámetros utilizables del anillado de los árboles**

De la estructura del anillado de los árboles los parámetros mensurables útiles para ser aplicados en dendrocronología son (1) el ancho de los anillos, (2) la densidad de la madera y (3) la concentración isotópica en la madera.

### **Anchura total de los anillos de crecimiento**

Medida de la anchura o espesor de un anillo anual de crecimiento, medido a lo largo de un radio. Esta medida se hace con un micrómetro y la ayuda de un microscopio. En algunas aplicaciones se mide por separado el espesor de los leños temprano y tardío.

### **Leño con porosidad anular**

Madera de tejido leñoso en el que los vasos de la madera temprana son marcadamente más grandes que los de la madera tardía formando una banda bien definida.

### **Leño con porosidad difusa**

Madera de tejido leñoso cuyos vasos tienen un tamaño y una distribución muy

uniforme en todo el anillo de crecimiento.

### **Leño con porosidad semicircular/semidifuso)**

Madera de en la cual el diámetro de los vasos disminuye gradualmente desde la madera temprana hasta la madera tardía.

### **Leño de coníferas**

Madera de las coníferas

### **Anillos ausentes**

Una complicación que a veces se presenta en el análisis de un anillado es la ausencia de un anillo anual en la altura del árbol donde fue tomada la muestra. Ello se debe a que el espesor de cada anillo no es uniforme ni en la circunferencia ni a lo largo de cualquier línea del tallo; y por consiguiente, el ancho relativo de los anillos en cualquier lugar en que se tome la muestra variará ligeramente.

Por otro lado, se pueden encontrar problemas cuando se trata de años muy secos. Un anillo se forma cada estación creciente (año), pero en años de crecimiento sumamente pequeño este anillo puede no mostrarse en cada punto del tronco. Durante tales años, el crecimiento en el árbol ocurre probablemente sólo en puntos de tensión, como la parte baja de un tronco o debajo de las ramas. Puesto que estas áreas son normalmente evitadas durante la toma de muestras, existe la probabilidad de obtener un centro o sección donde el anillo no aparezca.

Los anillos ausentes pueden ser fácilmente detectados al momento de la sincronización de varias muestras de un lugar. Haciéndose coincidir las secuencias del anillado de tales muestras se notará la ausencia del anillo en una de las muestras. El anillo ausente en la muestra es marcado y se continúa con el proceso.

### **Anillos dobles.**

Otra complicación que se presenta en el análisis de las muestras es la ocasional presencia de **anillos dobles** o **falsos** en el espécimen que está siendo estudiado. Ambos términos son aquí usados indistintamente dado que el efecto es el mismo.

Hay muchas maneras de reconocer anillos falsos. Con frecuencia, la marca final del madero tardío de un anillo falso no está bien delineada porque el madero tardío gradualmente se entremezcla con las partes claras del madero temprano. Esta transición gradual en el borde exterior de un anillo falso, en contraste con el cambio abrupto entre el madero tardío y el madero temprano en los anillos normales, es la característica distintiva de los anillos falsos y se detecta fácilmente con una lente de mano en una superficie bien preparada.

Adicionalmente, si se tuviera una sección transversal del árbol, el anillo en cuestión



podría ser trazado alrededor de toda la circunferencia. Entonces, si se aprecia que el madero tardío es discontinuo, concluimos que se trata de un anillo falso. Sin embargo, no en todas las especies se puede distinguir bien entre anillos falsos y verdaderos, en algunas es prácticamente imposible. Cuando los métodos de identificación fallan, se pueden detectar en la sincronización de varias muestras del mismo lugar.

Las causas de la formación de anillos falsos aún no se han determinado pues pocas especies han sido estudiadas y sin llegar a profundizarse en tales estudios. Algunas de las causas de anillos falsos son aparentemente genéticas debido a que la tendencia de producción es más pronunciada en algunas especies que en otras. Ocurrencias climáticas anormales, como una súbita sequedad en la estación, han sido sugeridas también como posibles causas; pero ello ha sido muy difícil de verificar. La sincronización de varios árboles en un lugar ha fracasado en su intento de demostrar que los anillos dobles tienden a formarse durante años con ciertas condiciones climáticas. Por otro lado, las influencias climáticas no pueden dejarse de considerar. En la actualidad, aún se continúan realizando estudios e investigaciones sobre la producción de anillos falsos y los causantes de su formación.

## **2.7 El Valle del Mantaro**

### *2.7.1. Ubicación geográfica y límites de la cuenca del río Mantaro*

La cuenca del río Mantaro está ubicada en el centro del Perú, entre los paralelos 10°34'30" y 13°35'30" de latitud sur, y entre los meridianos 73°55'00" y 76°40'30" de longitud oeste. Política y administrativamente, la cuenca abarca parcialmente territorios de las regiones Junín, Pasco, Huancavelica y Ayacucho, y limita al norte con otros territorios de la región Pasco, al este con otros territorios de las regiones Pasco, Junín y Ayacucho, al sur con otros territorios de las regiones Ayacucho y Huancavelica, y al oeste con otros territorios de la región Huancavelica y con la región Lima. En la cuenca se concentran importantes capitales de provincia: Junín, La Oroya, Jauja, Concepción, Chupaca y Huancayo en la región Junín; Cerro de Pasco en la región Pasco; Pampas, Huancavelica, Churcampá, Acobamba y Lircay en Huancavelica; y Huanta y Ayacucho en la región Ayacucho.

El río Mantaro es uno de los ríos más importantes de Los Andes Centrales Peruanos, su caudal depende de las precipitaciones en toda la cuenca, del nivel del Lago Junín, y de las lagunas ubicadas al pie de los nevados de la cordillera occidental y del nevado Huaytapallana. En la sierra peruana, la cuenca del río Mantaro es la mejor instrumentada con equipos hidrometeorológicos ubicados en toda su extensión, y cuenta con una de las series históricas más larga del Perú (Huayao desde 1921). La cuenca del río Mantaro es de gran importancia por ser la generadora de cerca del 35% de la energía eléctrica del país, la producción agrícola del valle provee de alimentos a Lima, y adicionalmente la población

involucrada supera los 700.000 habitantes, lo anteriormente expresado reafirma que la cuenca juega un rol muy importante en la economía del país, por lo que la población de agricultores ahí instalada requiere de especial atención para participar activamente en las medidas de adaptación al cambio climático que se proponen en el siguiente volumen de este material (IGP, 2005).

Siendo el clima el conjunto de condiciones atmosféricas propias de un área o territorio, debemos básicamente considerar el **termoclima** o sea lo referente a las temperaturas y el **ombroclima** lo referido a las precipitaciones o lluvias, lo que ocasiona que un determinado tipo de vegetación sea consecuencia de lo que es el clima y en parte de la calidad del suelo. En términos generales, podemos considerar que las condiciones térmicas en el extenso Valle del Mantaro, varía desde lo más cálido hasta lo más frígido, es decir en las partes bajas el promedio anual llega a 25°C mientras que en el piso subnival se registran temperaturas promedio anual de menos 3°C. En las partes bajas cálidas, la amplitud de las fluctuaciones de temperatura son menores que en las partes altas de la puna, de tal manera que en el piso subnival esta amplitud puede ser de aproximadamente 30°C. El límite inferior de las heladas (descenso brusco de la temperatura a 0°C o menos) corren aproximadamente a los 3000 metros de altitud.

Igualmente las precipitaciones o lluvias se distribuyen de acuerdo con los niveles altitudinales, siendo escasas en las quebradas profundas del valle, luego se incrementan gradualmente hacia las partes altas. Las precipitaciones en la parte oriental (Caja de montaña) son abundantes dando lugar a un bosque denso perennifolio, mientras que en la parte occidental a la misma altitud, se presenta una vegetación de bosque caducifolio por la menor precipitación (Tovar, 1990).

El Valle del Mantaro o como se le denomina “Valle Medio Mantaro Alto”, se encuentra situado en la región central andina del Perú en el departamento de Junín, a una altura media de 3200 msnm, presentándose como un alto valle sedimentario de material aluvial. El valle se orienta en sentido norte sur como una quebrada longitudinal a la cordillera cruzada en la misma dirección por el río Mantaro, se constituye en la columna vertebral del sistema hidrográfico al que afluyen otros ríos de menor importancia.

El área comprendida por el Valle puede considerarse dividido en dos niveles: Un nivel inferior sensiblemente plano con una longitud aproximada de 70 km y una altura media de 3200 msnm, comprendida entre un punto cercano a Acolla al norte de Jauja y Pucará situado al sur de Huancayo; y un nivel superior a las dos márgenes del valle, correspondiente a las áreas denominadas “altinas” y a una altura media de 3600 msnm.

Al nivel inferior del Valle del Mantaro le corresponde un tipo de suelo clasificado como de “Asociación de valles andinos”, suelo apropiado para la agricultura con riego y pastoreo extensivo. Al nivel superior le corresponde un tipo de suelo clasificado como de “Asociación Puna” apropiada para pastoreo intensivo y plantaciones forestales.

En función de su estructura geomorfológica, la clasificación del suelo en el valle

del Mantaro varía de acuerdo a factores de erosión, permeabilidad, pendiente, textura, pedregosidad, salinidad, fertilidad, condiciones de humedad, nivel freático, clima, etc. En cuanto a las estaciones del Valle del Mantaro, no se perciben nítidamente las cuatro aún se las confunde. De enero a marzo llueve intensamente; astronómicamente es la estación de verano, pero la población lo identifica como invierno es época en que el campo fructifica. Entre abril y junio cesan las lluvias, el clima se enfría un tanto, es época de cosecha. El común de las personas no identifica el otoño. Entre julio y setiembre se producen las intensas heladas, el cielo se torna azul, de noche hace un frío intenso y a veces la temperatura desciende a 2 ó 3 grados bajo cero, pero de día hace calor, es propiamente la estación de invierno, pero se le identifica como verano. De setiembre a diciembre mejora el clima, se torna más templado, empiezan las lluvias y también las siembras, apenas se identifica como primavera. En realidad la gente identifica solo dos estaciones la de verano que viene a ser el invierno; y la de invierno que viene a ser el verano. Dentro del valle podemos distinguir 4 provincias Chupaca, Concepción, Huancayo y Jauja. <http://www.dehuancayo.com/el-valle-del-mantaro.html>

### *2.7.2. El Valle del Mantaro en relación al clima*

Estudios previos realizados por el IGP (2005) sobre la climatología a nivel de la cuenca del río Mantaro, indican que a nivel de esta existen variaciones significativas de la temperatura del aire —principalmente de la temperatura mínima del aire que está relacionada principalmente a la topografía— haciendo que zonas que se encuentran sobre los 4000 msnm sean bastante frías durante todo el año. Similarmente, la precipitación presenta gran variación a nivel de la cuenca. El clima de la región andina del Perú es bastante variado, depende en gran medida de la altitud de la zona y su ubicación geográfica. Si bien la variación estacional es importante desde el punto de vista climático y para las actividades agrícolas, la variación diurna puede ser aún más importante debido a que el rango térmico diurno es bastante marcado, siendo incluso superior a 20 °C. La frecuencia de noches con temperaturas inferiores a cero grados aumenta rápidamente en regiones con altitudes sobre los 3 300 msnm. La temperatura disminuye con la altura a razón de 0,65 °C cada 100 m si el aire es bastante húmedo y 1,0° cada 100 m si el aire es seco, debido a estas variaciones el cultivo de quinua, por ejemplo, requiere de aproximadamente 15 días adicionales para alcanzar su madurez en regiones con mayor altitud (*Jacobsen y Sherwood, 2002*), citado por (IGP, 2010).

Por otro lado, Jacobsen y Sherwood (2002) sostienen que los daños que ocasionan las bajas temperaturas en las plantas debido a las heladas, varía de acuerdo a la susceptibilidad que presentan las especies vegetales en los diferentes ciclos vegetativos, es por ello importante realizar ensayos en diferentes localidades y épocas de siembra durante varias campañas, ya que el clima varía cada año. Datos registrados durante tres

años indican que en el Valle del Mantaro existen tres épocas de posible ocurrencia de heladas: del 26 al 30 de octubre, del 6 al 11 de noviembre y del 01 al 05 de diciembre (*Oscanoa, 2004*), citado por (IGP, 2010).



Figura 10: Cuenca del río Mantaro y sus afluentes

Fuente: Instituto Geofísico del Perú. 2012.

Según estimaciones del Centro Tyndall de Gran Bretaña<sup>1</sup>, Perú es el tercer país más vulnerable a los riesgos climáticos del mundo, solo superado por Honduras y Bangladesh, por lo que las consecuencias del cambio climático podrían tener resultados muy serios para nuestro país. Eventos meteorológicos como heladas, inundaciones y sequías se verían exacerbados por el cambio climático que ya está en marcha.

En la X Conferencia del Clima de las Naciones Unidas (Buenos Aires, 2004) se ha vuelto a poner de manifiesto el contradictorio desarrollo del sistema económico mundial, que alienta un crecimiento que genera pérdidas irrecuperables por la degradación medio ambiental, el agotamiento de los recursos naturales y los efectos del cambio climático. Dicha conferencia confirmó que el agua constituye uno de los vehículos principales de impacto del cambio climático. Para el caso de América Latina, los impactos de lluvias torrenciales, tormentas, sequías, desastres hídricos y el desplazamiento de las siembras a zonas menos fértiles ya se sienten en la agricultura, y la disminución en la producción de alimentos es una amenaza constante.

En febrero del 2005, la Conferencia sobre cambio climático, que reunió a 200 científicos de 30 países en el Servicio Meteorológico del Reino Unido, en Exeter, Inglaterra, concluyó que el fenómeno es mucho más serio de lo que se pensaba. El informe confirma

que los ecosistemas muestran los efectos del cambio climático reflejado en las alteraciones del hielo polar, en el deshielo de los glaciares y en las variaciones de los regímenes de lluvia.

Asimismo, el acceso al agua potable se hará más limitado y se incrementará el nivel del mar, provocando que muchas familias pierdan sus hogares debido a que decenas o cientos de metros de costa desaparecerán en los próximos 100 años. Hacia el año 2050 el calentamiento del planeta podría provocar el desplazamiento de más de 150 millones de personas. Serán “refugiados del clima” que huyen de la subida del nivel de las aguas del mar o abandonan las tierras estériles para la agricultura. Frente a este panorama, es necesario que América Latina adopte medidas de mitigación, (IGP 2005).

El río Mantaro es uno de los ríos más importantes de Los Andes Centrales Peruanos, su caudal depende de las precipitaciones en toda la cuenca, del nivel del Lago Junín, y de las lagunas ubicadas al pie de los nevados de la cordillera occidental y del nevado Huaytapallana. En la sierra peruana, la cuenca del río Mantaro es la mejor instrumentada con equipos hidrometeorológicos ubicados en toda su extensión, y cuenta con una de las series históricas más larga del Perú (Huayao desde 1921). La cuenca del río Mantaro es de gran importancia por ser la generadora de cerca del 35% de la energía eléctrica del país, la producción agrícola del valle provee de alimentos a Lima, y adicionalmente la población involucrada supera los 700.000 habitantes, lo anteriormente expresado reafirma que la cuenca juega un rol muy importante en la economía del país, por lo que la población de agricultores ahí instalada requiere de especial atención para participar activamente en las medidas de adaptación al cambio climático.

### **- Heladas**

La helada es un fenómeno que consiste en un sobre enfriamiento atmosférico y la subsiguiente baja en la temperatura del suelo, congelación del agua y de la humedad ambiental; produce irreparables daños a las plantas por la ruptura de los tejidos vegetales, como consecuencia de la formación de cristales de hielo en la savia, y en casos extremos, podría ocasionar la mortandad en los animales que permanecen a la intemperie. En la cuenca del río Mantaro, las heladas también inciden en el aumento de enfermedades respiratorias de la población, sobre todo entre la infantil.

Las variables que se han considerado para realizar el análisis de peligros de heladas son el clima, las geoformas y los tipos de suelo expuestos a una helada, incluyendo el uso de la tierra. El clima controla la época de ocurrencias de heladas, las condiciones ambientales de temperatura, precipitación, nubosidad, vientos, densidad del aire, radiación solar y humedad relativa del aire asociado a las fluctuaciones de masas de aire frío, que comúnmente pueden tener su origen en procesos de advección (es decir del transporte de masas frías de zonas subtropicales o polares a zonas de latitudes menores) o irradiación

(es decir, enfriamientos fuertes por pérdida de energía, típico de zonas altas y despejadas).

Por lo general se presentan heladas en climas de tipo frío y seco. Son frecuentes en zonas altas, que tienen una fuerte oscilación térmica diaria y pueden presentar bruscos o fuertes enfriamientos del aire especialmente por irradiación, durante las noches o madrugadas.

El grado de afectación de las geoformas y tipos de suelo que se exponen a una helada dependen de su grado de exposición a la intemperie y al mayor alcance de la helada. En las partes altas de la Cuenca como laderas, vertientes y pampas de altitud mayor a los 3000 msnm, el grado de exposición a la intemperie es mayor. Mientras que las zonas bajas de las vertientes (valles o quebradas), se encuentran relativamente protegidas por las laderas, aunque siempre llegan las masas de aire frío por gravedad. El tipo de suelo determina las condiciones de conductividad calorífica entre las capas de los suelos y la vegetación o sembríos que se encuentran en ellos y la capa superficial del aire frío.

El uso de la tierra también es un factor a ser tomado en cuenta, ya que los efectos de las heladas dependen en gran medida del grado de humedad del suelo y de los tipos de cultivos que se incluyen en el calendario agrícola, debido a los diferentes grados de resistencia a las heladas durante su período vegetativo (germinación, floración y fructificación).

### **- Sequías**

Las sequías son períodos prolongados sin lluvia en los ciclos climáticos naturales. Los ciclos de períodos húmedos y secos presentan problemas serios para los pastores y campesinos que se arriesgan con estos ciclos. Durante períodos húmedos, el tamaño de los rebaños aumenta y los cultivos se proyectan hacia áreas más secas. La sequía interfiere con las actividades humanas que han sido extendidas más allá de los límites de capacidad de sostenimiento de la región.

La sequía, principalmente, está determinada por los siguientes factores:

- El comportamiento del ciclo hidrológico: las precipitaciones, la evapotranspiración potencial, la humedad relativa, los vientos, la temperatura, horas de sol, etc. que determinan tipos de clima, siendo los áridos o semiáridos los que presentan largos períodos de escasa o nula precipitación.
- Variación de la precipitación total determinada por la variabilidad pluviométrica estacional, intraestacional e interanual de la zona. En este estudio, se consideraran los registros históricos y orales de precipitaciones mensuales, y se tomarán en cuenta las épocas de menor precipitación en el año hidrológico (setiembre-agosto). Los registros de precipitaciones anuales son necesarios para determinar la ocurrencia de períodos de sequía.
- La evapotranspiración potencial (ETP): En zonas donde la ETP es mayor que la precipitación se produce una deficiencia hídrica, lo que aunado a períodos consecutivos de disminución o ausencia de lluvias agrava una sequía. (Instituto Geofísico del Perú 2005).

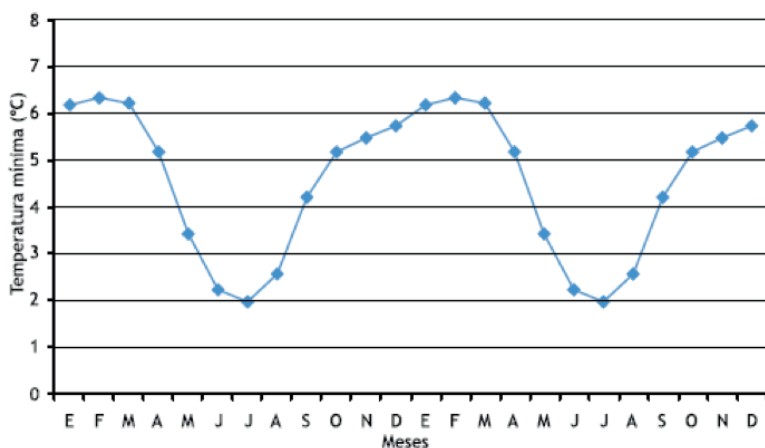


Figura 11: Comportamiento anual de la temperatura mínima del aire promediada para la cuenca del río Mantaro (Período 1960 – 2002)

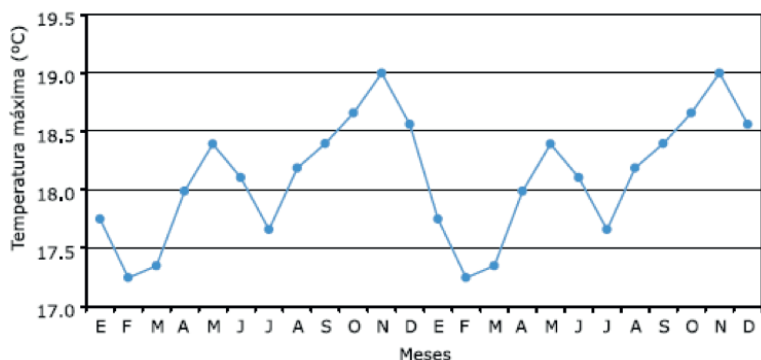


Figura 12: Comportamiento anual de la temperatura máxima del aire promediada para la cuenca del río Mantaro (Período 1960 -2002)

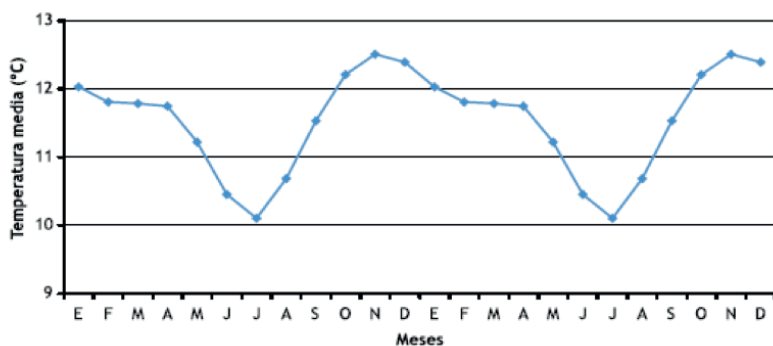
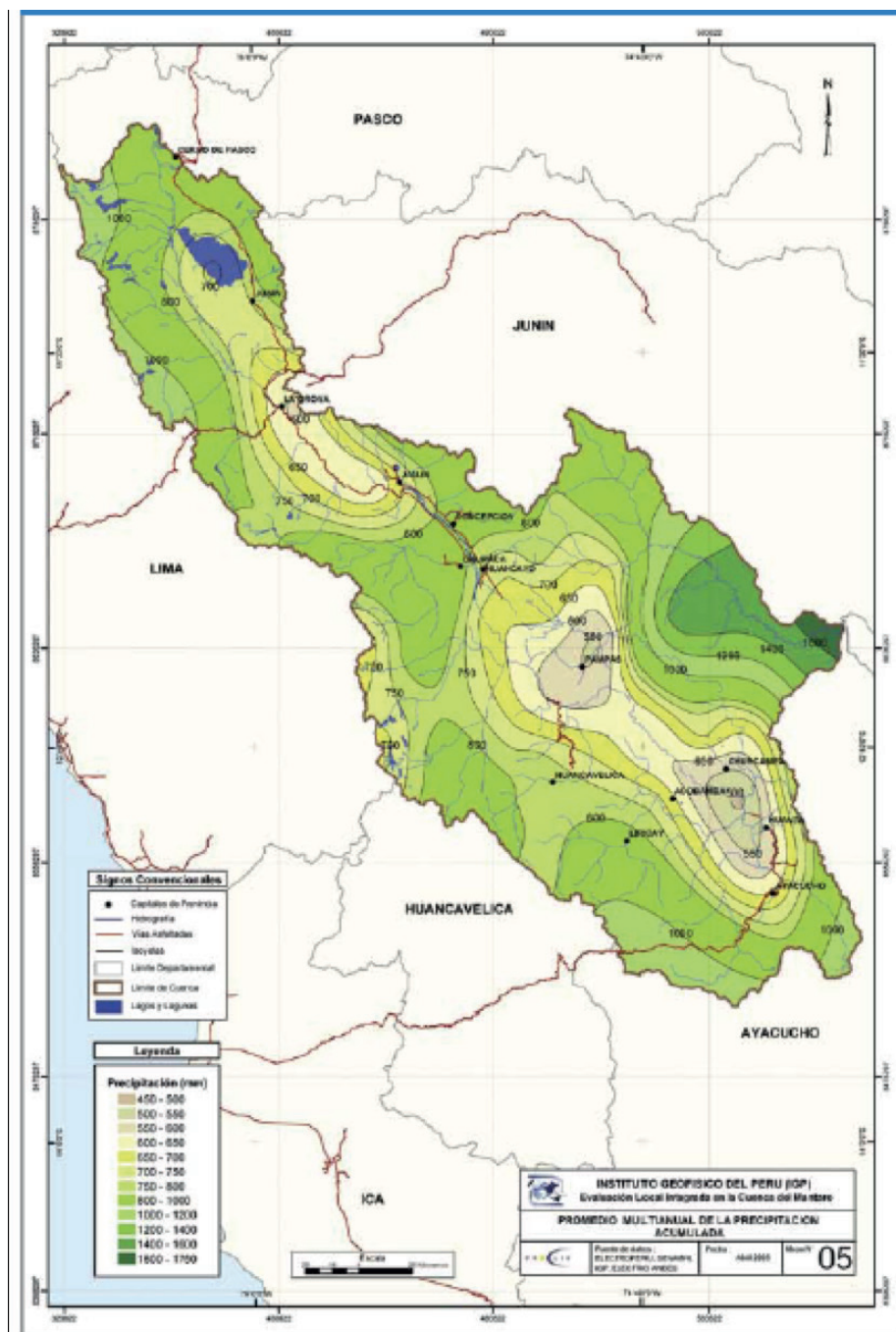


Figura 13: Comportamiento anual de la temperatura media del aire promediada para toda la cuenca del río Mantaro (Período 1960 – 2002)





Mapa 1: Promedio multianual de la precipitación acumulada





Mapa 2: Régimen de precipitación y humedad según Thornthwaite

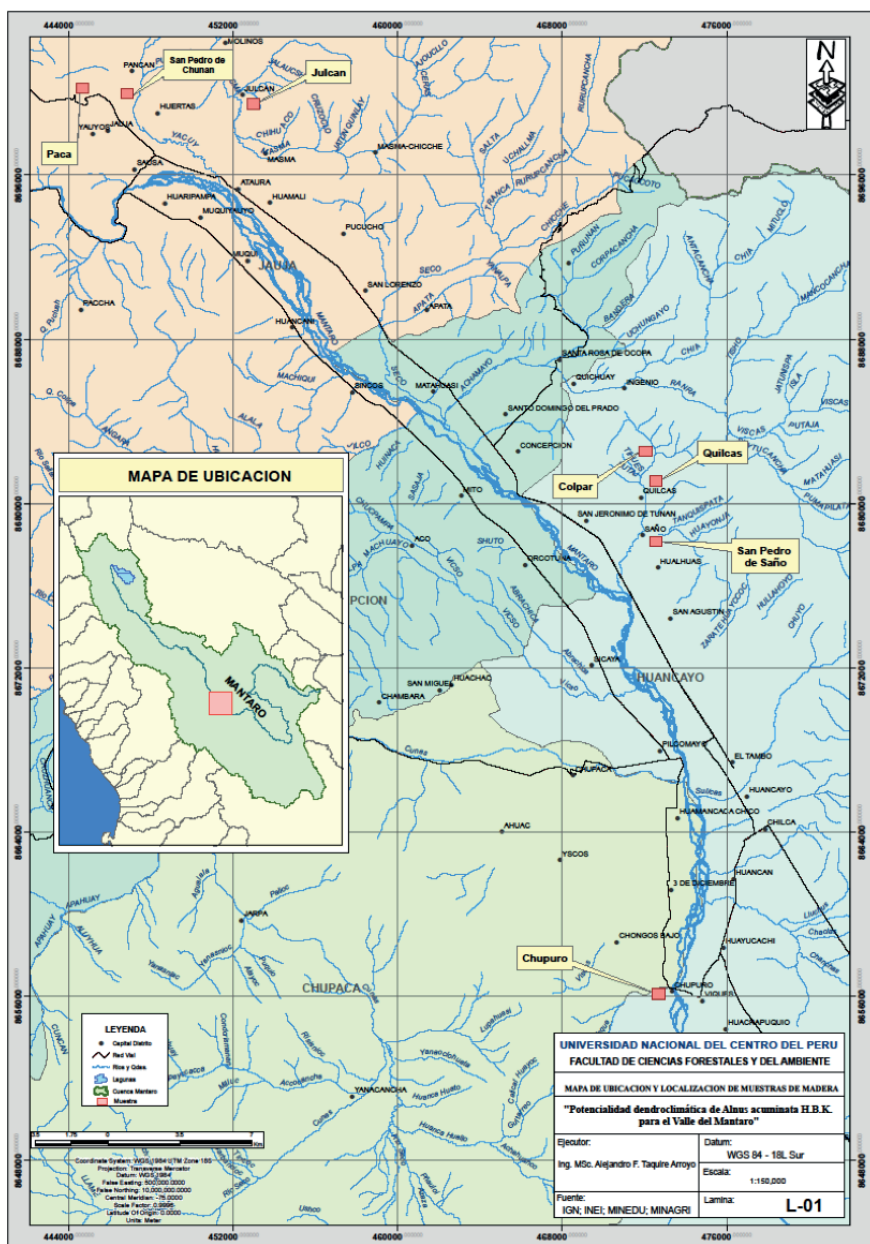
# MATERIAL Y MÉTODOS

### 3.1 Lugar de ejecución

Los análisis de datos de las características anatómicas al nivel macro y microscópico, así como la preparación de muestras (rodajas), medición de anchos de anillos, elaboración de las cronologías, análisis de densitometría se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de la Madera e Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente de la Universidad Nacional del Centro del Perú y Laboratorio de Anatomía e Identificação da Madeira, Departamento de Ciencias Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba São Paulo Brasil.

### 3.2 Material de estudio, selección y distribución geográfica

Las muestras de rodajas de la especie *Alnus acuminata* H.B.K. procedieron de las localidades de San Pedro de Chunan, Paca, Julcán, Quilcas, Colpar, San Pedro de Saños y Chupuro, todas ubicadas en el valle del Mantaro. Las mismas que se consideraron según las bases teóricas en dendrocronología en función al principio del lugar de selección.



Mapa 3: Distribución geográfica de las muestras de la especie

### 3.3 Características generales del área de estudio

El departamento de Junín fue creado el 13 de setiembre de 1825. Políticamente está dividido en nueve provincias: Huancayo (la capital), Chupaca, Junín, Tarma, Yauli, Jauja,

Chanchamayo, Satipo y Concepción. La población censada el año 2007 ascendió a 1 225 474 habitantes (4,5 por ciento de la población nacional), siendo la provincia de Huancayo la que concentra el 38,1 por ciento de los habitantes. Según las proyecciones poblacionales del INEI, al 30 de junio de 2011 Junín contaba con una población de 1 311 584 habitantes (4,4 por ciento del total de la población nacional de 2011). Por estimaciones del INEI, en Junín la tasa de crecimiento promedio anual de la población en el 2011 fue de 0,75 por ciento, mientras que a nivel nacional alcanzó 1,14 por ciento.

### **Clima e hidrografía**

El clima varía de acuerdo con la altitud; en los valles interandinos (mayoritariamente en las provincias de Junín, Yauli, Tarma, Jauja, Concepción, Chupaca y Huancayo) el clima es templado y frío, con poca presencia de humedad (seco); en la zona ceja de selva y selva (provincias de Chanchamayo y Satipo) el clima es cálido y húmedo, con abundantes lluvias de noviembre a mayo. Los datos meteorológicos de precipitación y temperatura del valle del Mantaro corresponden a las estaciones de Huayao, Santa Ana, y Jauja.

El departamento se encuentra atravesado por el río Mantaro, que tiene su origen en la unión del río San Juan, procedente de Pasco, con las aguas que sirven para drenar el lago Junín. El río sigue su curso cruzando la ciudad de La Oroya, para atravesar el Valle del Mantaro, abastecer a las centrales hidroeléctricas de Santiago Antúnez de Mayolo y Restitución - Hidroeléctrica del Mantaro (Huancavelica), hasta confluir con el río Apurímac y formar el río Ene. Otros ríos importantes son: Tulumayo, Chanchamayo y Perené, que al confluir este último con el río Ene forman el río Tambo, el que dará origen al río Ucayali. <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Huancayo/Junin-Characterizacion.pdf>

## **3.4 Materiales y Equipos**

### **De campo:**

- Motosierra
- GPS
- Cámara fotográfica
- Plumones de tinta indeleble
- Libreta de apuntes
- Wincha métrica

### **De laboratorio**

- Microscopio binocular con cámara incorporada

- Micrótopo de deslizamiento horizontal
- Placas Petri
- Pícel
- Escala micrométrica
- Lente de aumento de 10X
- Afilador de cuchillas para micrótopo
- Alcohol al 30, 60, 90 % de concentración
- Glicerina
- Safranina
- Porta y cubre objetos
- Entellan de Merck

### **Equipos y materiales para dendrocronología (rodajas)**

- Rodajas de madera de *Alnus acuminata* H.B.K.
- Tarugos obtenidas con taladro de Pressler
- Amoladora angular Bosch Professional GWS 10-125
- Lijadora orbital Bosch Professional GSS 280 A
- Lijadora orbital Skil 7366- 240 W
- Material abrasivo para madera: # 40, 60, 80, 100, 120
- Material abrasivo al agua: # 180, 220, 240, 260, 280, 320, 360, 400 y 600.
- Escáner
- Datos climáticos de precipitación, temperatura de las estaciones meteorológicas de Jauja, Santa Ana, Huayao.(Ver CD)

### **Equipos y materiales para densitometría**

- Radios de madera de *Alnus acuminata* H.B.K.
- Equipo QTRS-01X, que utiliza la tecnología de los Rayos X
- Soportes para el encolado de muestras
- Sierra cinta de carpintería
- Cola sintética
- Cinta masking
- Sierra dupla de dientes diamantados

- Pesas metálicas
- Vernier digital Mitutoyo
- Cuarto de aclimatación para muestras

### 3.5 Tipo, nivel y metodología de la investigación

Tipo de investigación cuantitativa y cualitativa. Nivel de la investigación, descriptiva correlacional de la precipitación y temperatura del valle del Mantaro, con la cronología de ancho de anillos de *Alnus acuminata* H.B.K. La metodología de investigación estuvo basada en los principios de la dendrocronología tales como: el de uniformidad de la respuesta, de los factores limitantes, de agregación de los factores ambientales, el de amplitud ecológica, del lugar de selección, de datación cruzada o sincronización.

La metodología empleada estuvo basada en los programas siguientes:

- El Programa Image-Pro Plus
- El Programa COFECHA
- El Programa ARSTAN (Grissino-Mayer 2001).
- El Programa Sigma Plot 10.0
- Lista Estándar de la IAWA (1989).

#### 3.5.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos para la investigación fue la observación directa, la misma que se realizó en cada una de las rodajas pulidas, en las cuales se demarcaron los límites de los anillos de crecimiento, previo a las mediciones de los anchos respectivos. Debiendo elegir o seleccionar la zona donde sean más evidentes los anillos de crecimiento de las rodajas.

Las mediciones de los anchos de anillos de crecimiento se efectuaron con el Programa Image Pro-Plus, las mismas que siguieron la dirección de los radios medulares de cada una de las muestras, luego estos datos fueron almacenados en un archivo para consecuentemente ser exportados al Programa de Excel y aquí ordenados de acuerdo a los objetivos del trabajo de investigación. Es más las mismas fueron confrontadas con el dendrómetro Velmex Inc, con una precisión de 0.001 mm.

Para el estudio anatómico de las muestras para densitometría se obtuvieron cubos de 1.5 cm de lado debidamente orientados de los cuales se realizaron montajes de los tres planos de corte para su análisis correspondiente, en tanto que para el estudio de macerado de tejido leñoso procedió de cuatro partes de la muestra.

Los análisis de densitometría de las muestras radiales de *A. acuminata*, procedentes del Valle del Mantaro, departamento de Junín, Perú fueron determinadas mediante el

equipo QTRS-01X, que utiliza la tecnología de los Rayos X para medir el incremento de anillos de crecimiento en árboles.

3.5.2. Población y muestra

La población estuvo conformada por los individuos de *Alnus acuminata* H.B.K. del Valle del Mantaro, de las localidades antes mencionadas. Las muestras estuvieron conformadas por 23 rodajas, y 02 muestras de tarugos obtenidas con el taladro de Pressler.

3.6 Procedimiento

a. Selección y recolección de árboles

Para la selección y recolección de individuos de *A. acuminata* se realizaron tres viajes exploratorios por el Valle del Mantaro sobre todo de la margen izquierda, debido a que en esta margen existe mayor vegetación que la margen derecha. Determinándose los siguientes lugares: Paca, Chunán, Julcán, Quilcas, Colpar, Saños, y Chupuro. De los cuales se obtuvieron rodajas de cada árbol, obteniéndose dos muestras por árbol en el caso de que las muestras no sean apropiadas para la visualización de los anillos de crecimiento. Obteniéndose un total de 23 árboles para la especie. Es preciso mencionar que en la mayoría de los casos de obtuvieron las rodajas de árboles ya talados, el número de árboles, radios y procedencia se observa en la Tabla 2.

Tabla 2: Número de árboles, radios y procedencia de muestras

N° de Arboles	N° de Radios	Procedencia
4	8	Chunán
3	7	Chupuro
7	16	Colpar
1	3	Paca
5	12	Quilcas
2	5	Saños
1	3	Julcán

+ 02 muestras de tarugo obtenidas con taladro.

b. Caracterización anatómica del leño de *Alnus acuminata* H.B.K.

Macroscópica

Para la caracterización anatómica al nivel macroscópico fue realizada en las muestras pulidas (rodajas), observándose el color, olor, sabor, la visibilidad de los anillos de crecimiento, dureza de la madera.

## **Microscópica**

De las muestras radiales para el estudio dendrocronológico se prepararon cubos de 1.5 cm de lado debidamente orientados para el estudio anatómico al nivel microscópico, es decir con los planos de corte tangencial, transversal y radial; asimismo se obtuvieron astillas para el macerado de tejido leñoso. El análisis microscópico se efectuó en las microfotografías tomadas con el microscopio con cámara incorporada. Las mediciones correspondientes de fibras se realizaron con el apoyo del Software Image Pro Plus.

### **c. Acondicionamiento para el pulido de muestras y medición de ancho de anillos de crecimiento**

De cada lugar se recolectaron de uno a tres muestras (rodajas) de 8 a 10 cm de espesor, obtenido las muestras respectivas el siguiente paso fue acondicionar los materiales y equipos para el nivelado y pulido de las rodajas. Para lo cual utilizamos una amoladora al que se le acondicionó un disco de madera prensada en la misma que se colocó una lija número 36, el que nos sirvió para la nivelación de las muestras (rodajas) dejadas por el trozado con la motosierra. Luego con la ayuda de una lijadora orbital se realizó el pulido del plano transversal iniciándose con lijas para madera números: 40, 60, 80, 100, 120, seguido por lijas de agua números: 180, 220, 240, 260, 280, 320, 360, 400 y 600 consecutivamente. Una vez pulido todas muestras se seleccionó una parte radial donde se pueda observar con mayor claridad los anillos de crecimiento, luego en estos radios fueron demarcados con lápiz los límites de los anillos de crecimiento, con una lente de mano de 10X para consecuentemente ser escaneados a 600 dpi.

### **d. Obtención de las series cronológicas de los anillos de crecimiento**

Para la medición del ancho de anillos nos apoyamos en el Software Image-Pro Plus, para lo cual primero tuvimos que abrir las imágenes de los radios escaneados anteriormente. Luego cargamos el Software con IPWIN32, donde podemos observar con claridad los límites de los anillos de crecimiento demarcados previamente, es más podemos aumentar el tamaño de la imagen escaneada. Para medir simplemente nos vamos a measure y después a measurements, features. Una vez realizado las mediciones correspondientes se guarda en un archivo con la denominación respectiva. Posteriormente estos datos son exportados al Excel, donde debo tener dos columnas 1=años, 2=valores de ancho de anillos. Una vez obtenido todas las cronologías de los diferentes radios, estos datos tienen que ser adecuados al formato Tucson y recién corridos mediante el Software COFECHA. También utilizamos el dendrómetro Velmex, está máquina consiste en un carro que desplaza la muestra y un marcador (medición del ancho) conectado a un computador, el cual registra las medidas de los anchos de los anillos de crecimiento en un archivo, el mismo que es fuente para los programas COFECHA (Holmes, 1983) y ARSTAN (Cook &



Holmes, 1984).

Realizada las mediciones de las series de las rodajas en el que se conoce aproximadamente el año del último anillo, se cofechó entre ellas, empleando el programa COFECHA, para formar así la cronología base. Asimismo el programa ajusta cada serie individual y promedia las series para obtener la cronología maestra. Luego COFECHA tiene en su salida las siguientes partes:

Parte 1: Título de la página, opciones seleccionadas, anillos ausentes por series.

Parte 2: Histograma de etapas de tiempo

Parte 3: Series máster y anillos ausentes por año.

Parte 4: Ploteo de barras de datos de la serie máster

Parte 5: Correlaciones por segmentos

Parte 6: Problemas potenciales, baja correlación, anillos ausentes y outliers.

Parte 7: Estadística descriptiva.

Luego del cofechado se procedió a la estandarización de las series, método que consiste en ajustar la serie de crecimiento de cada árbol individual a una curva adecuada, de forma de remover los efectos producidos por la disminución del crecimiento del árbol con la edad y cambios en la geometría del árbol. De esta forma la serie de crecimiento estandarizada tiene una media igual a uno (1) y una varianza relativamente homogénea a lo largo de la vida del árbol (Fritts, 1976). La estandarización se realizó utilizando el programa ARSTAN (Cook & Holmes, 1984). Además adjuntamos las curvas de crecimiento de *Alnus acuminata* H.B.K. De 10 árboles de la especie, (ver Anexo).

Una de las etapas más importantes que realiza el programa es la de generar las siguientes cronologías: Cronología estándar, denominada también como de frecuencia alta reporta señales de tiempos cortos, tales como la precipitación, temperatura, heladas las mismas que pueden ser mensuales, anuales; Cronología residual, conocida también como de frecuencia baja, la que alcanza señales de cada cierto período de tiempo como ENSO, que se presenta cada 8-10 años.

#### **e. Análisis de densitometría de Rayos X**

Existen diversas técnicas para la determinación de la densidad aparente de la madera, la densitometría de rayos x es una de las técnicas desarrolladas por (Polge 1963), citado por (Rosada de Oliveira 2014). Por la densitometría de rayos X se obtienen valores de densidad aparente del leño a intervalos micrométricos (40  $\mu\text{m}$ ), analizar las variaciones entre e inter-anillos de crecimiento. Schweingruber (1990) indico que la técnica de densitometría mostro ser adecuada para analizar las variaciones de densidad aparente del leño en anillos de crecimiento anuales. Puede ser aplicada en estudios de genética, fertilización, irrigación, ataque de hongos e insectos, factores climáticos y del suelo, etc., y relaciona con la estructura y la calidad de la madera (Tomazello Filho, Chagas; Roque,

2005), citado por (Rosada de Oliveira 2014). En los últimos años, diversos estudios han sido hechos sobre la aplicación de la densitometría de rayos X en especies tropicales comprobando la eficacia de la técnica.

En cuanto a los análisis de densitometría de las muestras radiales de *A. acuminata*, procedentes del Valle del Mantaro, departamento de Junín Perú fueron encoladas en soportes de madera para facilitar el corte (Fig. 14), las mismas que se cortaron a 1.7 mm de espesor con una sierra circular dupla diseñada específicamente para este fin. (Fig. 15). Las secciones transversales una vez cortadas fueron colocadas en un tablero de madera y sobre cada una de ellas se colocaron unas pequeñas pesas para evitar el alabeado (Fig. 16), luego fueron acondicionadas en cámaras climatizadas a 20°C con 50% de humedad relativa, hasta conseguir el 12 % de humedad.

Las muestras radiales de 1.7 mm de espesor fueron escaneadas cada una de las muestras con el densitómetro, luego guardados en un archivo con la extensión qtr y otro con la extensión dat. Seguidamente estos datos fueron transferidos al Excel, para construir los diagramas correspondientes de densidad aparente y ancho de anillos de crecimiento.



Figura 14: Encolado en soportes de madera.



Figura 15: Sierra dupla de dientes diamantados para obtención de muestras.



Figura 16: Pesas para evitar el alabeo de las muestras

### RESULTADOS

#### 4.1 Caracterización anatómica de los anillos de crecimiento *A. acuminata* H.B.K

##### Descripción macroscópica

El análisis general macroscópico del plano transversal de las rodajas de *A. acuminata* indicó que los anillos de crecimiento están caracterizados por la presencia de una zona un tanto más oscura en los límites de los anillos. Siendo más claras en el leño temprano que en leño tardío. Asimismo en cuanto al color de la albura y duramen no hubo diferencia siendo blanco rosáceo (HUE 7.5 YR 8/2); sin embargo en las muestras procedentes de Chupuro el duramen presentó un color marrón (HUE 7.5 YR 5/4). Lustre bajo. Textura media. Grano recto a oblicuo. Madera suave a moderadamente semidura y ligeramente liviana. Las dificultades encontradas fueron anillos falsos, anillos que se unen, límites de anillos difíciles de distinguir, límites de anillos muy delgados y débilmente definidos, (Fig. 37 A y B).

##### Descripción microscópica

La anatomía microscópica mostró que el leño de los árboles de *A. acuminata* estuvo caracterizada por la presencia de porosidad difusa, poros en cadena de hasta 15 células, con diámetros más o menos uniforme a lo largo de los anillos de crecimiento. Los anillos de crecimiento definidos caracterizado por la presencia de poros, fibras de paredes más gruesas y células de parénquima aplanadas radialmente (madera tardía); en tanto conformada por fibras de lumen un tanto abierto y poros un tanto más grandes (madera temprana). Los poros están posicionados en dirección radial, siendo de porosidad múltiple radial cortas y largas (2-7). Pueden encontrarse también poros solitarios, en racimo. De forma ovalada, rectangulares y triangulares. Presenta placas de perforación escaleriforme (10-17 barras) y con una pendiente entre 60 a 70°. Parénquima generalmente apotraqueal, también existe paratraqueal. Radios agregados, (Fig. 17 B).



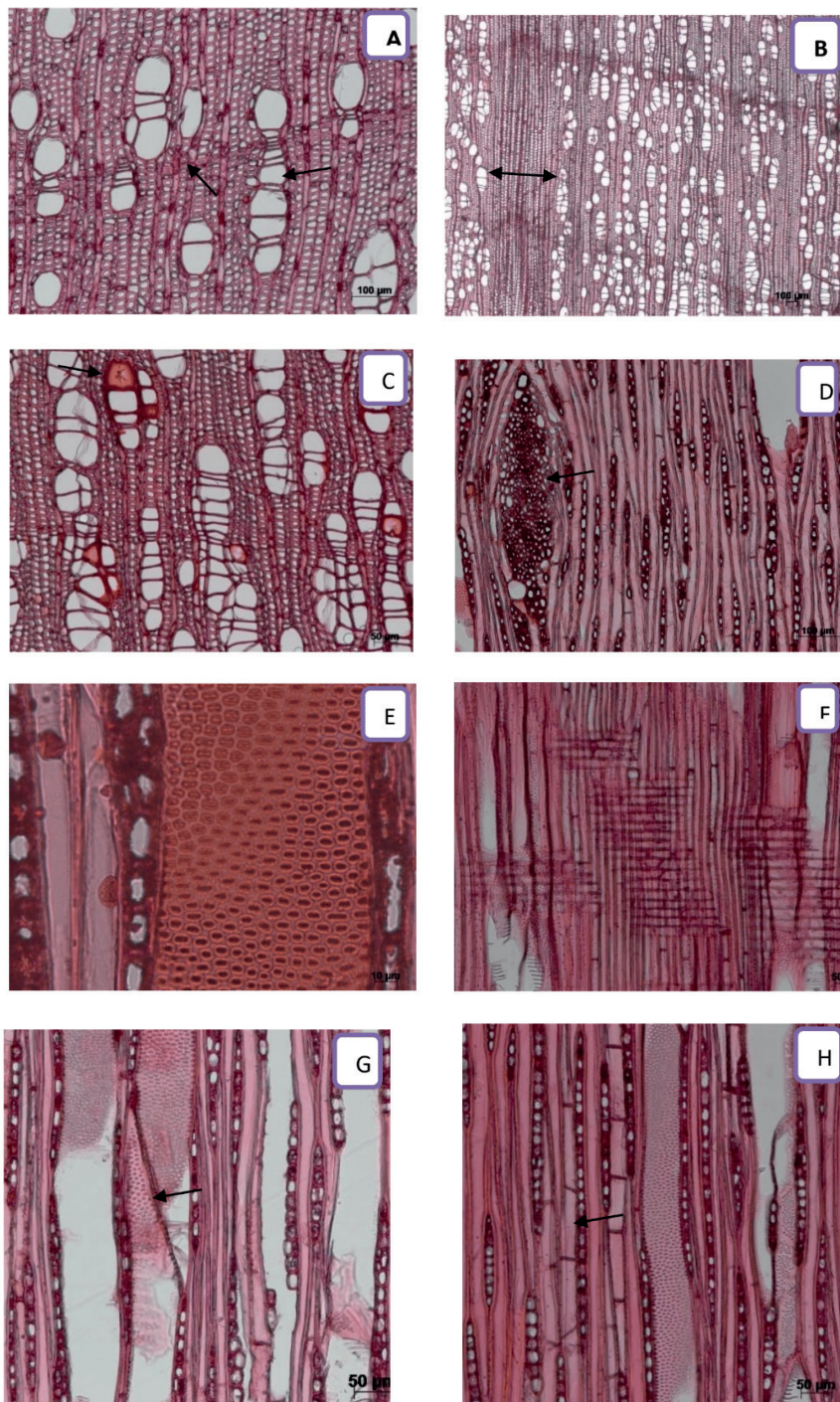


Figura 17: A: Límite del anillo de crecimiento, poros en cadena. B: Radios agregados. C: Presencia de tálidos. D: Trazos o huellas aciculares. E: Punteaduras intervasculares alternas y opuestas. F: Radios homogéneos. G: Placa de perforación muy inclinadas. H: Parénquima axial apotraqueal, radios de 1-2 células de ancho.

4.2 Caracterización anatómica de fibras de *Alnus acuminata* H.B.K.

Tabla 3: Características anatómicas de las fibras

Muestras Códigos	Dimensiones promedios de fibras (μm)			
	L.F.	D.F.	D.L.	E.P
Quilcas 17-I-B	1003.99	22.79	14.76	4.01
Quilcas 17-II-B	918.66	25.02	16.09	4.47
Chunán 20-B	816.71	31.86	22.04	4.91
Chunán 4	1071.79	29.95	20.92	4.51
Chupuro 4-A	994.76	28.04	18.03	5.01
Chupuro 5-A	1057.16	29.28	18.49	5.39
Colpar 10-A	990.87	26.49	17.07	4.71
Colpar 12-A*	1039.27	25.73	16.96	4.39
Paca 16-B*	1032.29	24.62	15.43	4.60
Saños 18-A	921.96	24.81	14.32	5.24
Promedio	984.746	26.859	17.411	4.724
Desv. Estándar	78.2498	2.8359	2.5355	0.4181

Donde:

L.F. = Longitud e fibras

D.F. = Diámetro de fibras

D. L. = Diámetro de lumen

E. P. = Espesor de pared

\* = Muestras más sensibles a T° bajas.

En la Tabla 3 observamos las características anatómicas de las fibras del leño de *A. acuminata* las cuales se caracterizan por presentar en promedio espesor de pared de 4.72 μm. Asimismo las muestras procedentes de Colpar 12-A\* y Paca 10-A\* presentan espesores de pared de 4.39 y 4.60 μm, notándose una tendencia a ser menores que las otras muestras, lo cual se debería a la sensibilidad a las bajas temperaturas de las dos muestras. Es más estas dos muestras presentan placas de perforación con mucha inclinación (70°), límite del anillo con presencia de poros. Madera tardía con fibras de paredes más gruesas y de forma rectangular, siendo el lado menor el radial. Presencia de trazos aciculares, (Fig.17 D) punteaduras intervasculares de forma poligonal.

4.2 Densitometría de Rayos X para *A. acuminata* H.B.K.

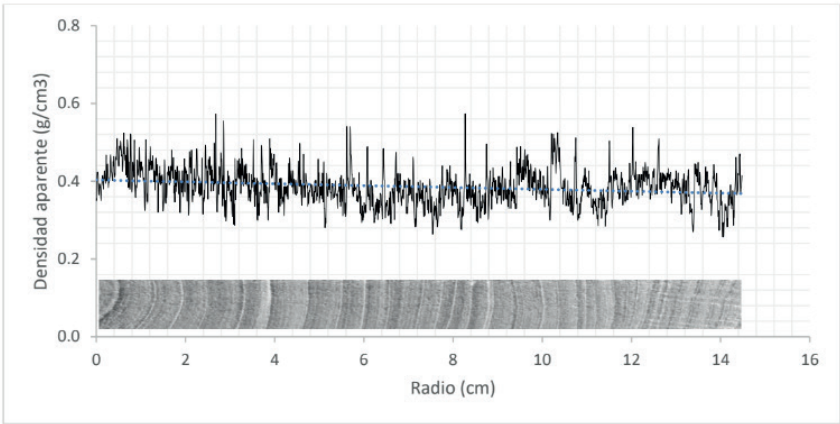


Figura 18: Densidad aparente de *Alnus acuminata* – Muestra Chunan 4

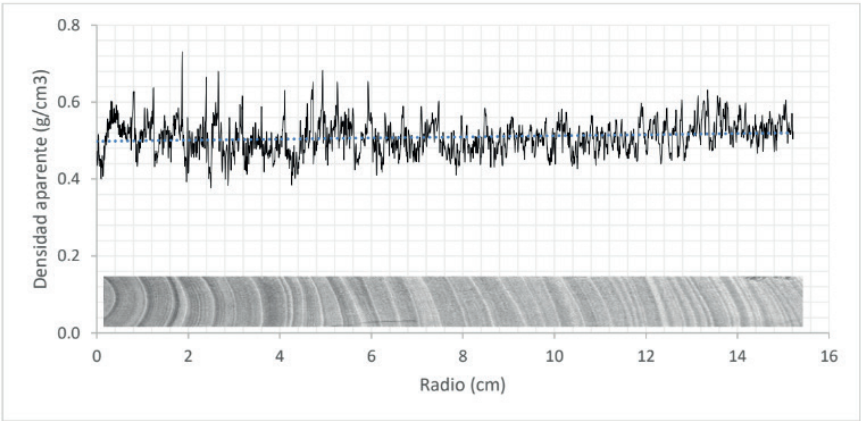


Figura 19: Densidad aparente de *Alnus acuminata* – Chunan 20

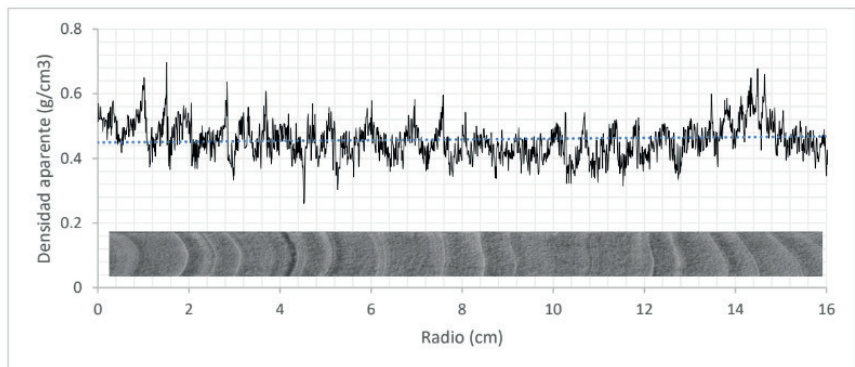


Figura 20: Densidad aparente de *Alnus acuminata* – Muestra Chupuro 4-A

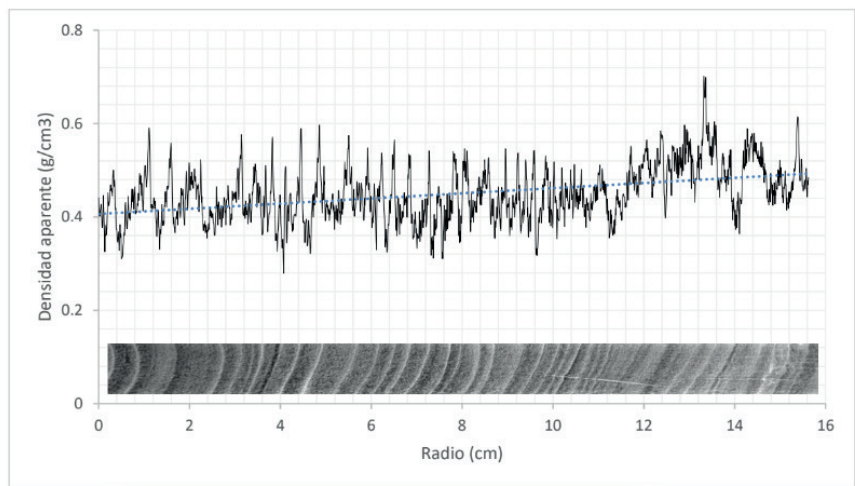


Figura 21: Densidad aparente de *Alnus acuminata* – Muestra Chupuro 5-A



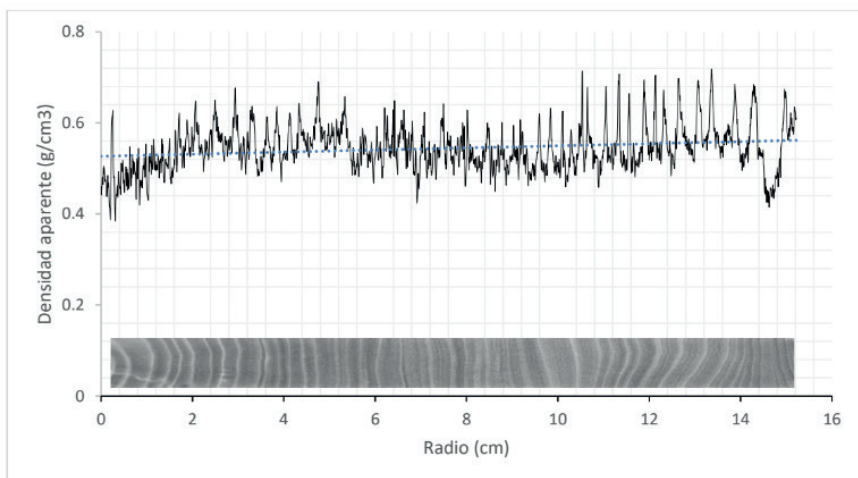


Figura 22: Densidad aparente de *Alnus acuminata* – Muestra Colpar 10-A

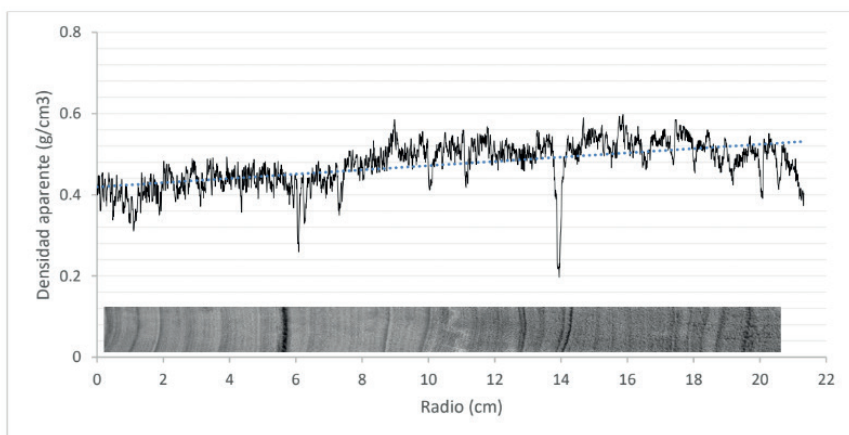


Figura 23: Densidad aparente de *Alnus acuminata* – Muestra Colpar 12-A

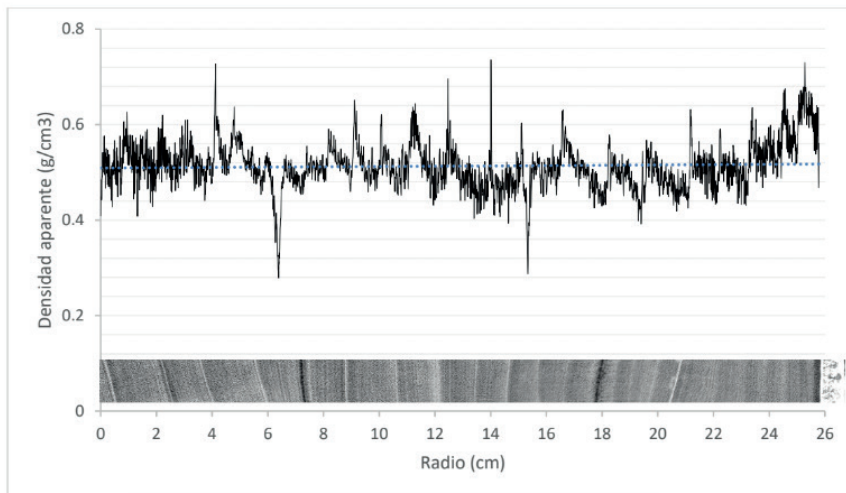


Figura 24: Densidad aparente de *Alnus acuminata* – Muestra Paca 16-B

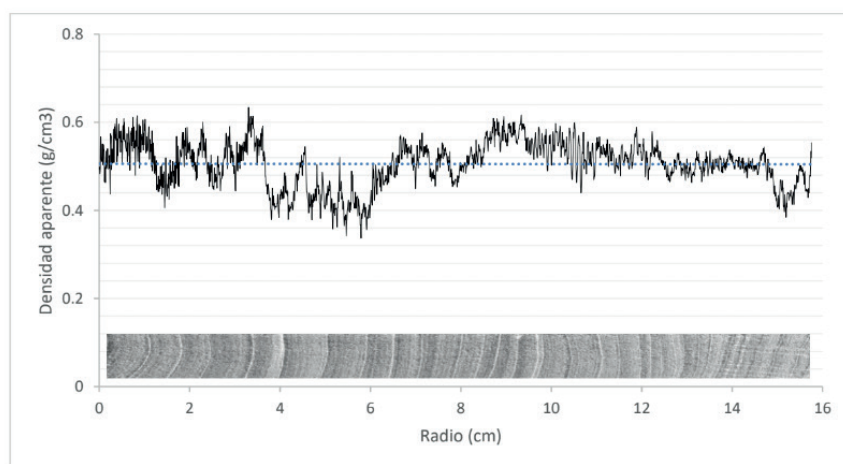


Figura 25: Densidad aparente de *Alnus acuminata* – Muestra Quilcas 17-I-B

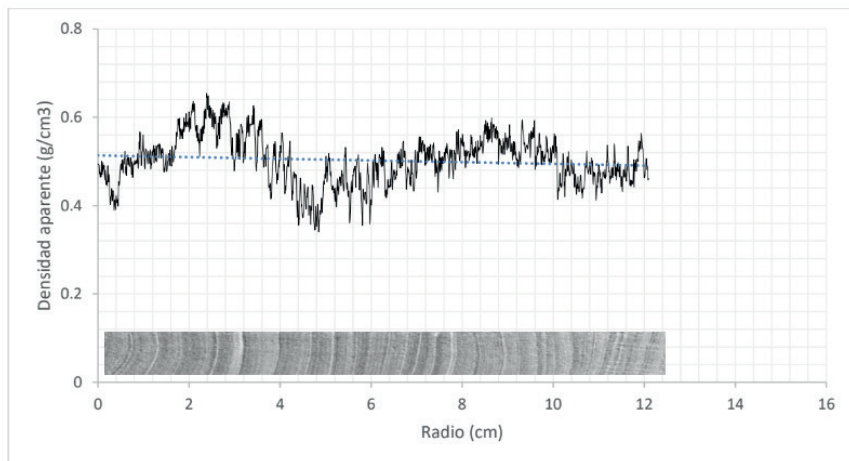


Figura 26: Densidad aparente de *Alnus acuminata* – Muestra Quilcas 17-II-B

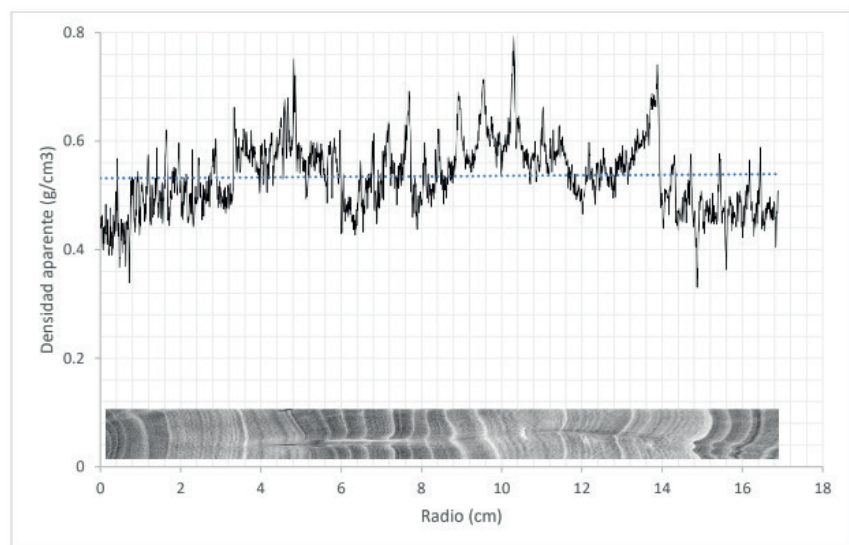


Figura 27: Densidad aparente de *Alnus acuminata* – Muestra Saños 18-A

### 4.3 Potencial dendrocronológico de *A. acuminata* H.B.K.

#### 4.3.1. Cronología master

Tabla 3: Estadísticos descriptivos de la serie maestra, mediante COFECHA

Estadísticos descriptivos de la serie maestra de 1949 - 2012	
Número de series	13
Media de la longitud de series	37.5 años
Sensibilidad media	0.452
Desviación estándar	3.210
Período de tiempo de datos	1949 - 2012
Intervalo común óptimo	De 1981 a 2001 (21 años) 12 series
Número de anillos	487

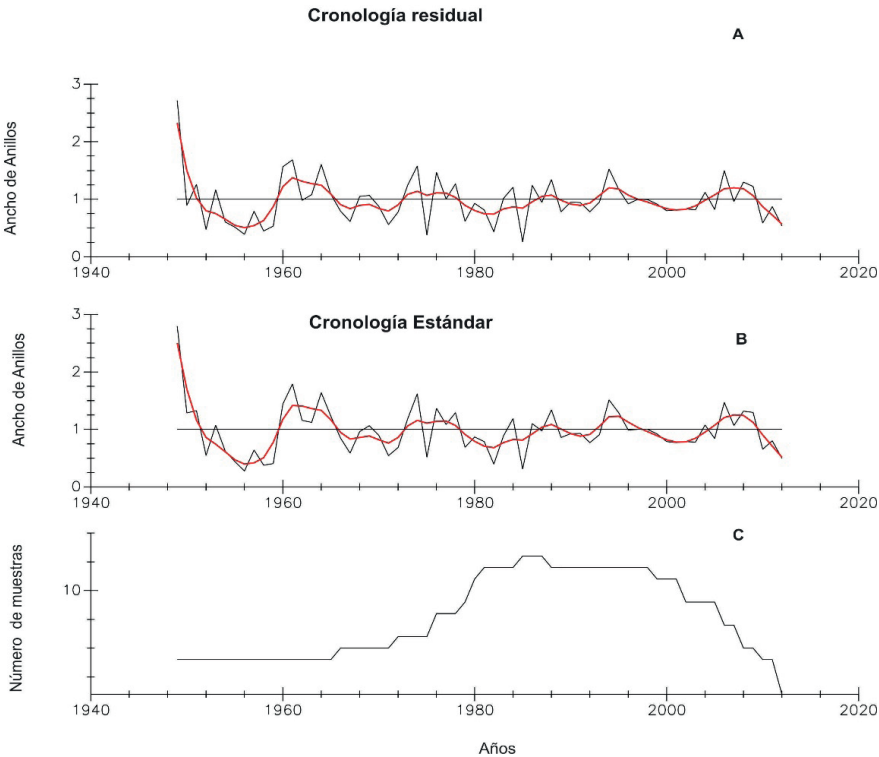


Figura 28: Cronología residual y estándar de *A. acuminata* para el Valle del Mantaro

En la figura 28 se muestran las cronologías de índice de ancho de anillos de *A. acuminata* en su versión residual (fig. 28 A) y estándar (fig. 28 B), la primera preserva la señal de baja frecuencia y la segunda conserva la señal de alta frecuencia. En las cronologías se puede observar varios periodos sucesivos de crecimiento sobre y bajo la media. Siendo los

periodos de 1960-1966, 1972–1978, 2004-2010 los de mayor crecimiento, y los periodos de 1966-1970, 1980-1986, 1999-2005 los de menor crecimiento. La fig.28 C representa el número de series de la cronología, donde se observa que a partir de 1965 existen más de 5 series, siendo óptimo la cronología por el número de repeticiones.

La topografía del valle del Mantaro y la distancia entre los lugares de muestreo, pueden mostrar diferencias significativas en el crecimiento de los árboles, por lo que se realizó cronologías por localidades de muestreo.

Tabla 4: Estadísticos descriptivos de la serie maestra para Jauja, mediante COFECHA

Estadísticos descriptivos de la serie maestra de 1949 - 2012	
Número de series	5
Media de la longitud de series	44.83 años
Sensibilidad media	0.422
Desviación estándar	2.932
Período de tiempo de datos	1949 - 2012
Intervalo común óptimo	De 1981 a 2007 (27 años) 4 series
Número de anillos	162

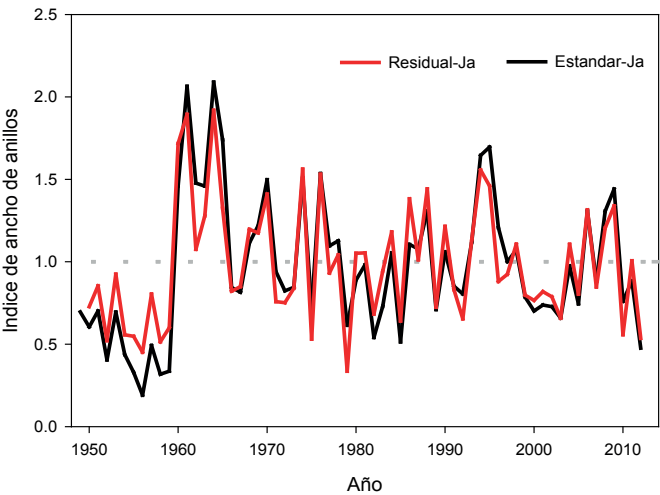


Figura 29: Cronología de ancho de anillos de *A. acuminata* para Jauja

La figura 29 presenta la cronología de ancho de anillos para Jauja (incluidas muestras de las localidades de Paca, Julcán y Chunan), desde 1949 al 2012. La cronología está compuesta por 5 series de 4 árboles, siendo el periodo de mayor crecimiento de 1960-1965 y el periodo de menor de crecimiento entre 1999-2003.

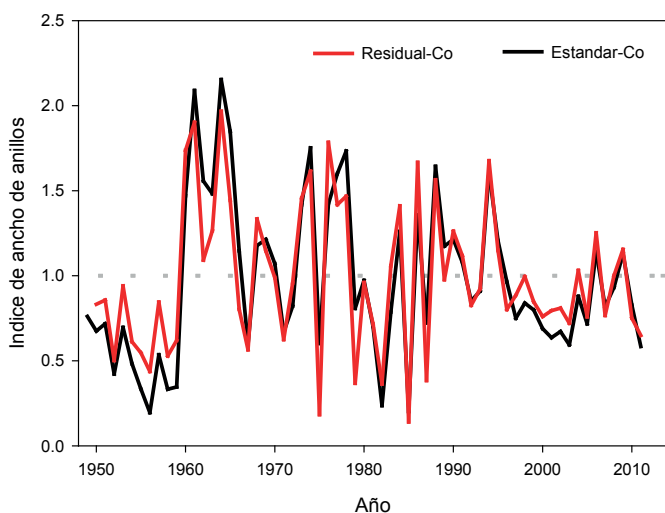


Figura 30: Cronología de ancho de anillos de *A. acuminata* para Colpar.

La figura 30 muestran las cronologías de índice de ancho de anillos de *A. acuminata* en su versión estándar (línea de color negro) y residual (línea de color rojo), para Colpar. La cronología está compuesta por 5 series de 3 árboles. En las cronologías se puede observar varios periodos sucesivos de crecimiento sobre y bajo la media. En las cronologías se puede observar varios periodos sucesivos de crecimiento sobre y bajo la media entre 1975-1990. Existe un periodo entre 1960 y 1966, donde todos los valores se encuentran por encima de la media y 1996-2003 por debajo de la media.

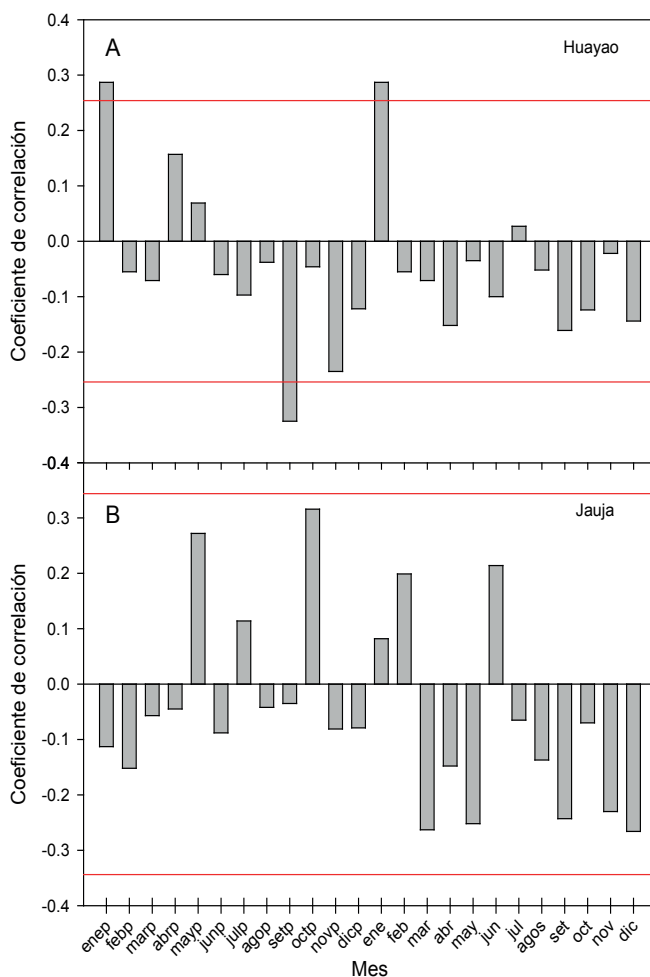
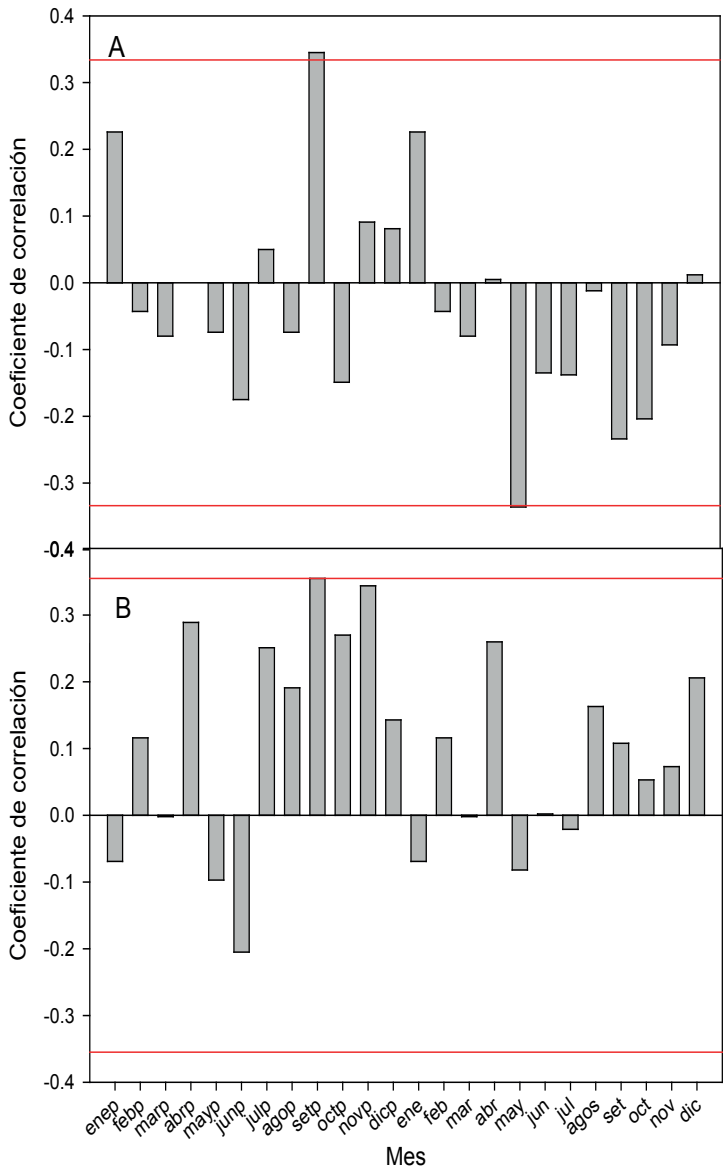


Figura 31: Funciones de correlación entre la cronología de ancho de anillos de *A. acuminata* con: precipitación mensual de Huayao (Fig. 31A) y precipitación mensual de Jauja (Fig. 31B).

Las comparaciones se extienden desde enero del año previo (indicado como enep) hasta diciembre del año corriente. Las líneas horizontales de color rojo representan el límite de significancia estadística de las correlaciones.

La función de correlación muestra que el crecimiento radial de *A. acuminata*, se encuentra relacionado con las condiciones climáticas de precipitación mensual de enero del año previo y año corriente ( $r = 0,35$   $p < 0,05$ ) para 1949-2009 de la estación Huayao (Fig.31A). Del mismo modo existe una influencia significativa negativa de la precipitación mensual de setiembre del año corriente en el crecimiento de los árboles. La tendencia de crecimiento radial positiva no significativa se muestra en los meses de mayo y octubre del año previo del mismo modo es negativa en Otoño y primavera del año corriente (Fig.31B).

Las correlaciones comprenden el periodo común de los registros instrumentales y la cronología entre 1970-2008.



**Figura 32:** Funciones de correlación entre la cronología de ancho de anillos de *A. acuminata* con: temperatura mínima mensual de Huayao (Fig. 32A) y temperatura media de Huayao (Fig. 32B).

Las comparaciones se extienden desde enero del año previo (indicado como enep) hasta diciembre del año corriente. Las líneas horizontales de color rojo representan el límite



de significancia estadística de las correlaciones.

La función de correlación muestra que el crecimiento radial de *A. acuminata*, está relacionada positivamente el mes de septiembre del año previo así mismo negativamente con la temperatura mínima mensual de otoño e invierno del año corriente siendo significativo en el mes de mayo, (Fig. 32A). Así mismo existe una influencia significativa positiva de la temperatura media de la estación de invierno y primavera del año corriente en el crecimiento radial de los árboles (Fig. 32B).

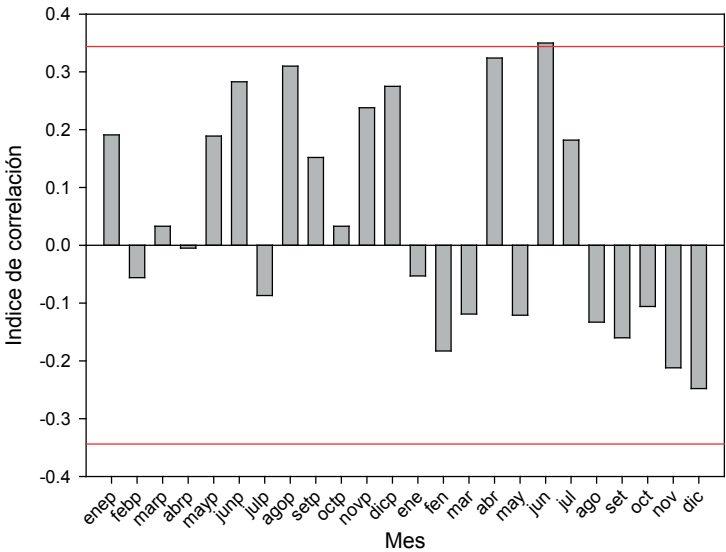


Figura 33: Funciones de correlación entre la cronología de ancho de anillos de *A. acuminata* para la cronología de Jauja con precipitación mensual.

Las comparaciones se extienden desde enero del año previo (indicado como ene) hasta diciembre del año corriente. Las líneas horizontales de color rojo representan el límite de significancia estadística de las correlaciones al 95%.

La función de correlación muestra que el crecimiento radial de *A. acuminata*, para la cronología de Jauja se encuentra relacionado con las precipitación al termino de otoño e inicio de invierno del año corriente siendo significativo el crecimiento radial en el mes de junio ( $r= 0,36$   $p<0,05$ ) para el periodo común entre los registros instrumentales y la cronología de 1970-2008 (Fig.33).

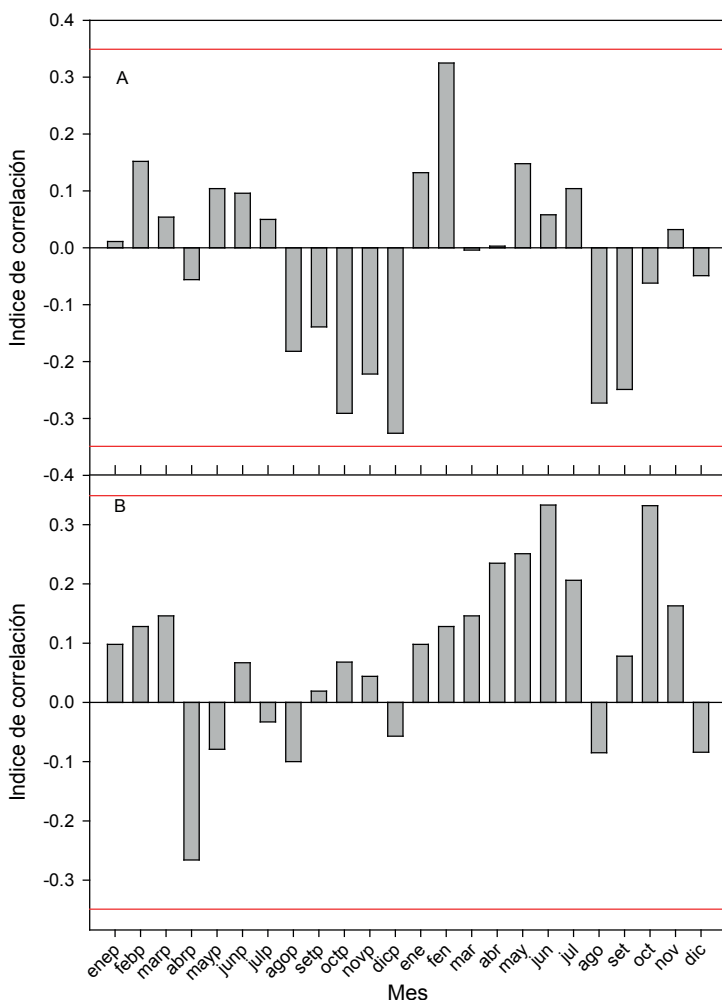


Figura 34: Funciones de correlación entre la cronología de ancho de anillos de *A. acuminata* de Jauja con: temperatura mínima mensual (Fig. 34A) y temperatura media de Jauja (Fig. 34B).

Las comparaciones se extienden desde enero del año previo (indicado como enep) hasta diciembre del año corriente. Las líneas horizontales de color rojo representan el límite de significancia estadística al 95%.

Además de realizar las comparaciones mes por mes entre la cronología de ancho de anillos y los datos instrumentales de precipitación y temperatura, se realizaron comparaciones por estaciones tomando tres y cuatro meses consecutivos, los datos instrumentales provienen de las estaciones meteorológicas de Huayao y Jauja.

La función de correlación indica que el crecimiento radial de *A. acuminata*, se encuentra influenciado negativamente por las temperaturas mínimas de invierno y

primavera del año previo y corriente. Estas correlaciones resultaron ser no significativa tomados mes por mes para 1970-2008 de la estación Jauja (Fig.34A). No existe una influencia significativa de la temperatura media en el crecimiento de los árboles de Jauja (Fig. 34B), las correlaciones comprenden el periodo común de los registros instrumentales y la cronología entre 1970-2008.

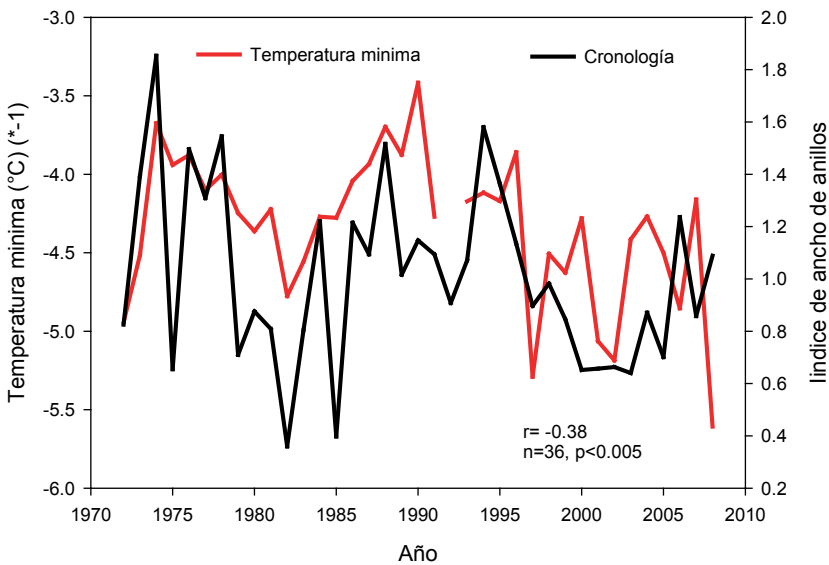


Figura 35: Comparaciones entre la cronología de crecimiento radial de *A. acuminata* y la serie de temperatura mínima mensual de Huayao (1972-2008).

Existe correlación significativa negativa de la temperatura mínima mensual de agosto –octubre con la cronología de ancho de anillos general entre el periodo común 1972-2008 (Fig. 35).

La serie de tiempo de la temperatura mínima mensual representa el periodo de setiembre del año previo a agosto del año corriente. El valor de  $r$  indica el coeficiente de correlación entre la cronología y la temperatura mínima y,  $n$  el número de años utilizado para el análisis.

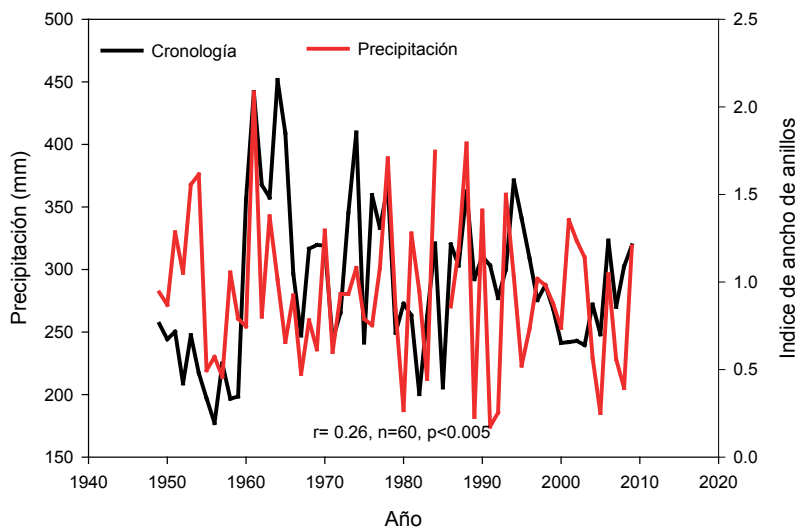


Figura 36: Comparaciones entre la cronología de crecimiento radial de *A. acuminata* y la serie de precipitación trimestral de Huayao (1949-2009).

La serie de tiempo de la precipitación trimestral representa noviembre, diciembre y enero del año corriente. El valor de  $r$  indica el coeficiente de correlación entre la cronología y la temperatura mínima y,  $n$  el número de años utilizado para el análisis.

La Figura 36 muestra las que existe efectos de la precipitación acumulada de noviembre, diciembre y enero del año corriente en el crecimiento radial de *A. acuminata*, para el valle del Mantaro para el periodo común entre los registros instrumentales y las cronología elaborada 1949-2009.

## DISCUSIÓN

**5.1 Caracterización anatómica de anillos de crecimiento y fibras de *A. acuminata* H.B.K**

La caracterización anatómica del plano transversal macro y microscópica de la madera de *Alnus acuminata*, realizada en las diferentes muestras, indican que los anillos de crecimiento son definidos pero de forma irregular conformado por células (poros, fibras, parénquima) acortadas en la sección radial. Las fibras de la madera tardía son de paredes más gruesas, que las fibras de la madera temprana, las que presentan un lumen más amplio en comparación a los de madera tardía. Distribución de vasos difusos. Caracterización corroborada por Hinostroza, (2013) quién estudiando la misma especie, menciona que los anillos de crecimiento son poco regulares, presenta madera temprana y tardía notoria, promedio de anillos de 7 en 2.5 cm. Está constituido por fibras de paredes gruesas y aplanadas radialmente la madera tardía y fibras de paredes delgadas y con lumen amplio en madera temprana. Asimismo Argollo, et al. (2004), caracterizando los anillos de crecimiento de *Polylepis tarapacana* reporta la presencia de vasos más abundantes y de mayor diámetro al inicio de la madera temprana y una banda de fibras leñosas con paredes celulares más engrosadas al final del anillo correspondiente a la madera tardía. Es más Tomazello, et al. (2004), estudiando las características de las zonas de incremento del leño de 41 especies arbóreas del estado de Sao Paulo, Brasil, reporta de modo general que las características anatómicas de las zonas de incremento de 9 especies están compuestas por fibras radialmente comprimidas de paredes gruesas y lúmenes delgadas al final del leño tardío

La Tabla 3 muestra los resultados de la caracterización de fibras de *A. acuminata*, relacionándolos con los resultados de las imágenes de rayos X de las muestras radiales, podemos mencionar que las muestras provenientes de Paca 16-B y Colpar 12-A, se evidencian 2 zonas conformadas por células parenquimatosas, así también que las fibras presentan espesores de pared tendientes a ser menores a las demás muestras que son posiblemente más complacientes, lo cual se debería a las bajas temperaturas, tal como reportan (Filion et al 1986; Gindl 1999; Gurskaya y Shiyatov 2006), citado por (Pedersen, 2010); que los daños por heladas internas es más difícil de determinar porque los árboles sometidos a heladas podrían no formar un anillo de helada, una deformación celular interna de las células ocurre en un anillo de crecimiento anual. Adicionalmente pueden también formar anillos claros, o anillos que tienen células débilmente lignificadas en la madera tardía formados normalmente por temperaturas de la estación de crecimiento más frías en promedio. Es más que la presencia de anillos de crecimiento es un carácter complejo ampliamente estudiado pero aún no totalmente aclarado (Panshin y de Zeeuw, 1970; Metcalfe y Chalk, 1989); ha sido utilizado para la interpretación del clima (Fritts, 1976; Fahn, 1978; Wimmer y Grabner, 2000) y es afectado por cambios ambientales drásticos como

sequías y heladas (Wimmer y Grabner, 2000), citado por (Aguilar y Barajas 2005). Otra de las características que presenta es de tener placas de perforación con gran pendiente (70°), punteaduras intervasculares de forma poligonal. Presencia de trazos aciculares (ver Fig. 17 D), tal como Wimmer, (2002), menciona que los factores genéticos determinan la estructura básica de anillos-árboles, la estructura anatómica de la madera en general de las especies arbóreas es constante, y se utiliza en la identificación de madera.

Es más, hay una cierta variabilidad de estructuras que están sujetas a modificaciones a través del ambiente. El tamaño y la forma de las células pueden cambiar, el número y tipos de células y características específicas ocurren en aquellos “normalmente” vistos, tal como en el actual estudio la especie presenta tílides y radios agregados (ver fig. 17 B, C). Asimismo las características estructurales de madera son de gran utilidad en ecología y en ello reporta (Scheweingruber 1996, 2001) citado por Wimmer, (2002).

Para la evaluación retrospectiva de la transparencia de la copa como un componente clave de la salud de los bosques, el análisis de la huella o trazo acicular (Fig. 17 D) en la madera ha demostrado ser útil, sección transversal de una huella acicular por M. Grabner, citado por Wimmer, (2002) quién manifiesta, de que los ciervos es un tipo de influencia animal de ataque agresivo hacia la fisiología de los árboles. Las reacciones retrasan el crecimiento o cambio del tamaño de los vasos y disposición de los vasos. Otros eventos son la defoliación a través de insectos que se manifiesta como la formación de anillo falso; manchas de la médula en anillos-árboles de *Alnus*, *Betula*, *Corylus* y *Salix* través de insectos que taladran-cambium; y la formación de una pseudo madera de compresión.

Es preciso mencionar que el crecimiento en diámetro no solo depende de la edad del árbol y del cambium sino también de las condiciones ambientales como por ejemplo altas temperaturas, sequías, vientos fuertes, cambios de fotoperiodo, precipitaciones, incendios, ataques de agentes patógenos, ataques de insectos, influencias de animales menores y mayores; acciones humanas como en el caso de raleos, podas, fertilizaciones, riegos todos ellos pueden influir y modificar el patrón de crecimiento en diámetro del árbol (Díaz, 2003).

Para dar sólo algunos ejemplos, Burkhalter (1988) ha reconstruido la dinámica de árboles inclinados a través de la datación cruzada de la madera de compresión en anillos-árboles para determinar el impacto de vientos extremos. Muy estrecho o ausentes de anillos-árboles fueron utilizados para identificar incendios de bosques debido a los daños de la copa que tienen crecimiento radial interrumpido (Ortloff 1996).

Para conocer las tendencias en ecoanatomía de la madera de un bosque mesófilo de montaña, se estudiaron 29 especies arbóreas entre ellos *Alnus acuminata* de la región de Ocuilan, Estado de México. Los resultados sugieren que el clima homogéneo de la zona influye en la ausencia de anillos de crecimiento en la mayoría de las especies; al mismo tiempo se observó una relación estrecha entre los anillos y el origen fitogeográfico de la taxa. Con respecto a los demás caracteres anatómicos, existe un elevado porcentaje de maderas con porosidad difusa, elementos de vaso medianos y largos, con diámetros

pequeños y placas de perforación escalariforme; fibras largas con paredes delgadas, de tipo libriforme, o fibrotraqueidas con presencia o no de septos; el parénquima axial es escaso y los radios son heterogéneos, de tipo I. Estos caracteres se discuten desde un punto de vista ecológico y evolutivo, citado por (Aguilar y Barajas 2005).

## 5.2 Variación de la densidad aparente en el sentido radial y su relación con la estructura anatómica

En las Fig. 2-11 sobre densitometría mediante rayos X observamos la variabilidad de la densidad aparente, que va de  $0,31 - 0,54 \text{ gr/cm}^3$ . Sin embargo se tiene valores significativamente más bajos en muestras (Colpar 12-A y Paca 16-B) que presentan zonas de parénquima de paredes delgadas que permiten el paso de los rayos X, cuyos valores de densidad aparente varían entre  $0,20 - 0,26 \text{ gr/cm}^3$  (Fig. 7 y 8); las mismas que se aprecian de una coloración más oscura en comparación a los límites de los anillos de crecimiento que son de color más clara (Fig. 38 A, B) de la muestra radial.

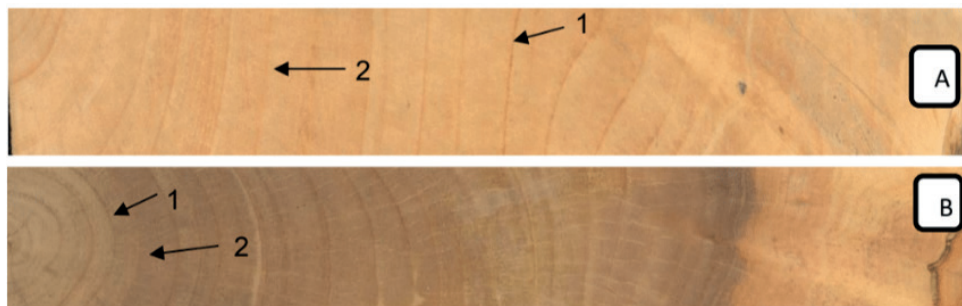


Figura 37: Características de los anillos de crecimiento en una muestra sin diferencia entre albura y duramen (A) y otra con diferencia (B), las flechas señalan los límites de los anillos; 1: límite definido. 2: anillo débilmente definido.

Los diferentes resultados obtenidos a lo largo de los años han mostrado son incontables los factores que pueden influenciar la variación de la densidad en diferentes espaciamientos. Entre ellos se destaca la variación genética de poblaciones forestales procedentes de semillas, una utilización de diferentes métodos de muestreo; edad de los individuos estudiados y la forma como fue realizado el manejo de la plantación forestal (Ferreira, 1968).

La técnica de la densitometría de rayos X permitió una asociación con la característica anatómica micro y macroscópica del leño de los árboles. Más allá de la obtención de valores en intervalos puntuales, fue utilizada la técnica de rayos X con la obtención de imágenes digitales, que tiene capacidad de analizar cualitativamente el perfil radial de densidades de los árboles.

Las imágenes indican las posiciones del leño que poseen mayor densidad, representado por la coloración más clara, y menor densidad por el color más oscuro.

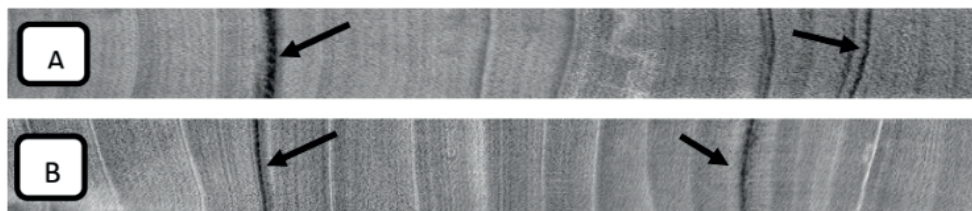


Figura 38: Las flechas indican la región que presenta una estructura casi abierta, conformada por células de parénquima, los mismos que dejan pasar los rayos X y muestran valores más bajos (0,20 a 0,26 gr/cm<sup>3</sup>). A (Colpar 12-A) B (Paca 16-B).

Corroborando a la Fig. 38, cuando se menciona que los daños por heladas interna es más difícil de determinar porque los árboles sometidos a heladas podrían no formar un anillo de helada, una deformación celular interna de las células ocurre en un anillo de crecimiento anual. Adicionalmente pueden también formar anillos claros, o anillos que tienen células débilmente lignificadas en la madera tardía formados normalmente por temperaturas de la estación de crecimiento más frías en promedio (Filion et al 1986; Gindl 1999; Gurskaya y Shiyatov 2006). La interacción entre el aire frío y la superficie del árbol no es homogénea a través de toda la circunferencia y puede ser afectada por numerosas variables como la topografía, el área basal, y la exposición; por consiguiente, la presencia de un anillo de helada es una función de cómo afecta el aire frío a los diferentes lados de la superficie del árbol dañado. De hecho, Rhoads (1923) señaló que los anillos de heladas eran comúnmente llamados “anillos de la luna”, ya que carecen con frecuencia de la circunferencia total del anillo de crecimiento anual, citado por (Pedersen, 2010). Es más los anillos de helada son formados en los tallos de los árboles cuando crecen en estación de heladas afectan a las células inmaduras de madera, produciendo células colapsadas dentro de los anillos anuales de los árboles. Las características más notables de un anillo de heladas son la deformación de traqueídas, la curvatura de los radios y el posterior desarrollo de tejido de callo (Schweingruber, 2007), citado por (Payette, Delwaide and Simard 2010).

Mediante el perfil digital se observó que la variación en el sentido médula-corteza, los valores muestran la tendencia de incrementar la densidad aparente hacia la corteza, sin embargo algunas pocas muestras indican lo contrario, lo cual se debería a la presencia de madera de reacción. Es más (Shepherd, 1964), citado por (Vera et al., 2011) menciona que la abundancia de auxinas dependerá la formación de células de grandes diámetros y el desarrollo de paredes celulares gruesas para el proceso de fotosíntesis a plenitud. Asimismo (Barnett y Jeronimidis, 2003), menciona que influyen en la densidad del



leño de los árboles, su edad, genotipo, tratamiento silviculturales, localización geográfica, disponibilidad hídrica, factores climáticos, etc. La densidad de la madera varía entre diferentes partes de los árboles, en los sentidos, longitudinal y radial del tronco.

Tomazello, et al. (2000), estudiando los anillos de crecimiento de *Cedrela odorata*, *Cedrela fissilis*, *Cedrela angustifolia*, *Swietenia macropylla* y *Toona ciliata*; la marcación de los anillos es nítida por la presencia de parénquima axial inicial con tipo de porosidad semicircular, lo cual hace posible la medición y la determinación de la variación de la densidad de la madera en el anillo y entre anillos de crecimiento por medio de la densitometría de rayos X.

(Lima et al., 2011), citado por (Rosada de Oliveira, 2014), estudiando plantaciones de árboles de *Cariniana legalis* de diferentes procedencias en el mismo lugar, constató que la densidad básica no presentó tendencia significativa de variación en el sentido médula-corteza. El perfil radial anatómico de los árboles de *C. legalis* en el DAP mostró que los primeros años de formación del leño los anillos de crecimiento son más estrechos y menos claros, mostrando un crecimiento lento al inicio de formación de los árboles. Después de los primeros años, la delimitación fue más visible y el ancho de los anillos aumentó.

Es más por medio de la técnica de densitometría de los rayos X no fue posible definir la delimitación de los anillos anuales, presentando la especie sectores no visibles.

### 5.3 Análisis dendrocronológico de los anillos de crecimiento del leño de *Alnus acuminata*

En la Tabla 3, se muestran los estadígrafos de la serie maestra, realizado mediante el programa COFECHA. Los resultados del control de calidad de datación y de sincronización del crecimiento radial de los árboles de *Alnus acuminata*, muestran que de las 33 series de ancho de anillos, el 39,40% fueron cofechadas con éxito. Con una sensibilidad media de 0.452, en un espacio de tiempo del año 1949-2012. Siendo el intervalo óptimo del año 1981-2001 (21 años) con 12 series. Los valores de sensibilidad media encontrados en las series de los anillos de crecimiento presentan valores sobre la media ( $>0.30$ ) (Grissino-Mayer, 2001). Este promedio refleja las variaciones del factor ambiental que es más limitante para el crecimiento de los árboles; cuando el árbol no está bajo condiciones de estrés ambiental, los anillos tienden a presentar una menor variabilidad, llamados complacientes (Fritts, 1976). Es más que la presencia de anillos de crecimiento es un carácter complejo ampliamente estudiado pero aún no totalmente aclarado (Panshin y de Zeeuw, 1970; Metcalfe y Chalk, 1989); ha sido utilizado para la interpretación del clima (Fritts, 1976; Fahn, 1978; Wimmer y Grabner, 2000) y es afectado por cambios ambientales drásticos como sequías y heladas (Wimmer y Grabner, 2000), citado por (Aguilar y Barajas 2005).

En la Figura 28: podemos observar la cronología residual (Fig. 28A), la estándar (Fig. 28B) de *A. acuminata* para el valle del Mantaro. En las cronologías podemos notar

períodos sucesivos de crecimiento sobre y bajo la media. En el año 1964 se tiene el valor más alto de toda la cronología y el valor más bajo el año 1985.

En la Tabla 4, tenemos los estadígrafos descriptivos para la serie maestra de Jauja, mediante COFECHA. La cronología de las series provenientes de la Provincia de Jauja, presentan para el período 1949 – 2012 una sensibilidad media de 0.422 con una desviación estándar de 2.932 y un intervalo común óptimo para el período 1981 a 2007 (27 años), con 4 series. Asimismo las cronologías de los anillos de crecimiento mostraron sensibilidad a los factores ambientales, de precipitación mensual, trimestral, temperatura mínima y media con estaciones meteorológicas de Jauja, y Huayao. También muestra una sensibilidad media es mayor a la media ( $>0.30$ ). (Fritts, 1976).

A causa de la topografía, fisiografía y distancia entre los lugares de muestreo del Valle del Mantaro, puede mostrar diferencias significativas en el crecimiento de los árboles, se determinó realizar cronologías por localidades de muestreo. Tal como lo respalda mediante estudios previos realizados por el IGP (2005) sobre la climatología a nivel de la cuenca del río Mantaro, indican que a nivel de esta existen variaciones significativas de la temperatura del aire principalmente de la temperatura mínima del aire que está relacionada principalmente a la topografía haciendo que zonas que se encuentran sobre los 4000 msnm sean bastante frías durante todo el año. Similarmente, la precipitación presenta gran variación a nivel de la cuenca. Es más Por otro lado, Jacobsen y Sherwood (2002), citado por (IGP, 2010) sostienen que los daños que ocasionan las bajas temperaturas en las plantas debido a las heladas, varía de acuerdo a la susceptibilidad que presentan las especies vegetales en los diferentes ciclos vegetativos, es por ello importante **realizar ensayos en diferentes localidades y épocas** de siembra durante varias campañas, ya que el clima varía cada año.

En la figura 29, se muestra la cronología de ancho de anillos de *A. acuminata* para Jauja, (muestras de las localidades de Paca, Julcán y Chunan), del período comprendido de 1949-2012, estando demarcado por la línea de color negro la frecuencia estándar y de color roja la residual; observándose el período de mayor crecimiento de 1960-1965 y el de menor crecimiento entre 1999-2003.

En la Figura 30, mostramos la cronología de ancho de anillos de *A. acuminata* para la localidad de Colpar, en su versión estándar (línea de color negro) y la residual (línea de color rojo). La cronología está conformada por cinco series de tres árboles, observándose varios períodos sucesivos de crecimiento sobre y bajo la media entre 1975-1990. Hay un período entre 1960-1966, donde los valores se encuentran sobre la media y 1996-2003 por debajo de la media.

## 5.4 Correlaciones dendroclimatológicas

Los resultados del estudio indican que *Alnus acuminata* H.B.K., posee anillos de crecimiento anuales bien demarcados y algunos de ellos débilmente demarcados y que las variaciones en el ancho de anillos están controlados por los factores ambientales tales como precipitación mensual y trimestral, temperaturas mínimas y medias.

En la Figura 31 se observa las funciones de correlación entre la cronología de ancho de anillos de *Alnus acuminata* para la precipitación mensual de las estaciones meteorológicas de Huayao y Jauja. Dichas comparaciones se extienden desde enero del año previo (indicado como enep) hasta diciembre del año corriente. Las líneas horizontales de color rojo representan el límite de significancia estadística de las correlaciones. La función de correlación muestra que el crecimiento radial de *A. acuminata*, se encuentra relacionado con las condiciones climáticas de precipitación mensual de enero del año previo y año corriente ( $r= 0,35$   $p<0,05$ ) para 1949-2009 de la estación Huayao (Fig.31A). Del mismo modo existe una influencia significativa negativa de la precipitación mensual de setiembre del año corriente en el crecimiento de los árboles. La tendencia de correlación positiva no significativa del crecimiento se muestra en los meses de mayo y octubre del año previo del mismo modo es negativa en otoño y primavera del año corriente (Fig.31B). Las correlaciones comprenden el periodo común de los registros instrumentales y la cronología entre 1970-2008.

Tal como lo menciona (Nydick 2009), citado por (Pedersen, 2010), que el enlace de la humedad del suelo y la temperatura es indiscutible; con el incremento de las temperaturas, las precipitaciones probablemente tendrían que aumentar para mantener el actual nivel de humedad del suelo en lo que podría ser un futuro más cálido. Esta disminución la disponibilidad de humedad también es probable que afecte el calendario de apertura de las yemas para muchas especies arbóreas.

La función de correlación (Fig. 32), muestra que el crecimiento radial de *A. acuminata*, está relacionada positivamente con la temperatura mínima mensual del mes de septiembre del año previo así mismo negativamente con la estación de otoño e invierno del año corriente siendo significativo en el mes de mayo. Corroborando parcialmente a estos resultados (Lobao, 2011; Chagas, 2009), quién menciona que los estudios reportan que aunque las temperaturas caen durante este periodo la reducción de lluvia es mucho mayor, resultando en déficit hídrico en los meses de transición del periodo seco para el lluvioso, como consecuencia los árboles tienden a tener una caída en el crecimiento.

Comparados con los resultados con *Polylepis* difieren puesto que la incidencia de la temperatura estival sobre el crecimiento radial en *P. pepeí* presenta similitudes a lo que ocurre con *P. tarapacana*. Este último *Polylepis*, adaptado a condiciones secas y frías, muestra variaciones en su crecimiento anual, relacionadas positivamente con las variaciones de la temperatura de verano. Si bien, las condiciones de humedad difieren

tanto para los ambientes de *P. pepeí* y *P. tarapacana*, ambas constituyen las especies de *Polylepis* que crecen a mayor altura en los Andes bolivianos. Por ello el crecimiento radial de ambas especies se encuentra más limitado por las variaciones de temperatura del verano que por cualquier otra variable, es decir que la temperatura de verano es el factor que más influye en la variabilidad del crecimiento de *P. pepeí*, (Roig, et al. 2001).

En la Figura 33, se muestra las funciones de correlación entre la cronología de ancho de anillos de *A. acuminata* para la cronología de la localidad de Jauja con la precipitación mensual de la estación meteorológica de Jauja. Las comparaciones se extienden desde enero del año previo (denotado como enep) hasta diciembre del año corriente. Las líneas horizontales de color rojo superior e inferior denotan el límite de significancia estadística positiva y negativa de las correlaciones al 95%.

La función de correlación muestra que el crecimiento radial de *A. acuminata*, para la cronología de Jauja se encuentra relacionado con las precipitación al termino de otoño e inicio de invierno del año corriente siendo significativo el crecimiento radial en el mes de junio ( $r= 0,36$   $p<0,05$ ) para el periodo común entre los registros instrumentales y la cronología de 1970-2008 (Fig. 33). Tal como menciona Morales, et al. (2001); estudiando a *Prosopis ferox* Griseb, analizó las características anatómicas del leño, las relaciones entre registros climáticos y la cronología estandarizada del ancho de los anillos, observó correlaciones significativas. Comparando con los registros climáticos, la fuerte relación con variables climáticas, el amplio rango de distribución de la especie, la longevidad observada en individuos aislados hacen que *P. ferox* sea potencial para estudios dendroclimatológicos y dendroecológicos en desiertos subtropicales de alta montaña.

La función de correlación indica que el crecimiento radial de *A. acuminata*, se encuentra influenciado negativamente por las temperaturas mínimas de invierno y primavera del año previo y corriente. Estas correlaciones resultaron ser no significativa tomados mes por mes para 1970-2008 de la estación Jauja (Fig.34A). No existe una influencia significativa de la temperatura media en el crecimiento de los árboles de Jauja (Fig. 34B), las correlaciones comprenden el periodo común de los registros instrumentales y la cronología entre 1970-2008

Las comparaciones entre la cronología de crecimiento radial de *A. acuminata* y la temperatura mínima mensual de Huayao (1972-2008), se muestran en la Figura 35. Los datos de temperatura mínima mensual representa el período de setiembre del año previo a agosto del año corriente. Con un coeficiente de correlación de  $r = -0.38$ , con  $n = 36$ ,  $p < 0,005$ . Podemos ver también una correlación significativa negativa de la temperatura mínima mensual entre agosto-octubre con la cronología general de ancho de anillos entre el período 1972-2008.

En la Figura 36, se observa las comparaciones entre la cronología de crecimiento radial de *A. acuminata* y la precipitación trimestral de la estación meteorológica de Huayao (1949-2009). La precipitación trimestral es de noviembre, diciembre y enero del año

corriente, con un valor de coeficiente de correlación de 0.26,  $p < 0,005$ ; entre la cronología y la temperatura mínima. En la figura 36 muestra que existe efectos de la precipitación acumulada de noviembre, diciembre y enero del año corriente en el crecimiento radial de *A. acuminata* para el valle del Mantaro para el período común de 1949-2009, entre los registros instrumentales y las cronologías. Concordando parcialmente los resultados de Mendivelso, et al., (2014) quién constató una fuerte respuesta en el crecimiento de la madera de las especies de los géneros *Centrolobium*, *Acosmium*, *Caesalpineia*, *Zeyheria*, *Anadenanthera* y *Tabebuia*, ocurridos en el bosque seco tropical de Bolivia, en función de las precipitaciones durante los meses comprendidos dentro de la temporada de lluvias (noviembre a marzo ) a excepción de *Aspidosperma* en donde que la mayor correlación se produjo entre abril y mayo, durante la transición de la estación húmeda a seca. La precipitación en cantidades adecuadas influye positivamente en el crecimiento de los árboles, pero cuando se encuentra en exceso o escasez puede resultar en la reducción del crecimiento, citado por (Rosada de Oliveira, 2014). Es más (Fritts, 1976; Fahn, et al., 1981; Worbes, 1995; citado por Melandri, et al., 2007), menciona que los anillos de crecimiento en los árboles son inducidos por la alternancia estacional entre condiciones favorables y desfavorables para el crecimiento.

## CONCLUSIONES

1. *Alnus acuminata* es una especie muy promisorio para realizar estudios dendroclimáticos y dendroecológicos en los bosques andinos, presentando una potencialidad para abrir la posibilidad de reconstruir las precipitaciones locales y las temperaturas mínimas.

2. Los anillos de crecimiento son definidos por la presencia de poros, fibras de paredes más gruesas y células de parénquima aplanadas radialmente (madera tardía). Caso contrario por fibras de lumen más abierto y poros más grandes (madera temprana). Dificultades encontradas fueron anillos falsos, anillos que se unen, límites de anillos difíciles de distinguir, límites de anillos muy delgados y débilmente definidos.

3. La cronología máster está conformada por 13 series de ancho de anillos analizados, de las cuales el 39.40 % fueron cofechadas satisfactoriamente en el presente trabajo de investigación. Mediante los estadísticos descriptivos la especie presenta sensibilidad media de 0.452, siendo prometedora para el análisis medio ambiental de bosques montano bajo sub tropical. La cronología de muestras para Jauja (Paca, Julcán y Chunán), presentan una sensibilidad media de 0.42. Con 5 series para el período 1981 a 2007.

4 La función de correlación, muestra que el crecimiento radial de *Alnus acuminata* se encuentra relacionado con las condiciones climáticas de precipitación mensual del mes de abril del año previo ( $r = 0,35$   $p < 0,005$ ) para el período 1949-2009 y estación meteorológica de Huayao.

5. Que la función de correlación entre la cronología de ancho de anillos de *Alnus acuminata* con la temperatura media y mínima mensual de la estación de Huayao, está relacionada positivamente en el mes de septiembre del año previo así mismo negativamente con la temperatura mínima mensual de otoño e invierno del año corriente siendo significativo en el mes de mayo. También existe una influencia significativa positiva de la temperatura media de la estación de invierno y primavera del año corriente en el crecimiento radial de los árboles.

6. El crecimiento radial de *Alnus acuminata* y la cronología de Jauja (Paca, Julcán, Chunán), manifiesta relación con la precipitación al término del verano e inicio del otoño del año corriente ( $r = -0,36$   $p < 0,005$ ) para el período común entre los registros instrumentales y la cronología de 1970-2008.

7. Que el crecimiento radial de *A. acuminata*, se encuentra influenciado negativamente por las temperaturas mínimas de invierno y primavera del año previo y corriente. Estas correlaciones resultaron ser no significativa tomados mes por mes para 1970-2008 de la estación Jauja. No existe una influencia significativa de la temperatura media en el crecimiento de los árboles de Jauja.

8. De las comparaciones realizadas entre la cronología del crecimiento radial de la especie y la temperatura mínima mensual de la estación de Huayao, existe correlación significativa negativa de la temperatura mínima mensual de agosto-octubre con la cronología entre el período común 1972-2008.

## RECOMENDACIONES

1. Efectuar estudios dendroclimáticos, específicamente con la variable temperatura media y mínima.
2. Realizar estudios dendrocronológicos de *Alnus acuminata* con una mejor selección de individuos, así como mayor número de árboles.
3. Presentando un buen potencial para la sensibilidad a temperaturas mínimas estudiar por diferentes localidades a nivel de todo el Valle del Mantaro.
4. Efectuar un estudio comparativo con muestras tomadas con barreno y muestras de rodajas o radios de *Alnus acuminata* H. B.K., para determinar en cuál de ellas facilita mejor la delimitación de anillos de crecimiento.

# REFERENCIAS

1. Acevedo, M.; Kikata, Y. (1994). Atlas de maderas del Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina, Universidad de Nagoya, Japón.
2. Argollo, J., C. Soliz & R. Villalba. (2004). Potencialidad dendrocronológica de *Polylepis tarapacana* en Los Andes centrales de Bolivia. *Ecología en Bolivia* 39:5-24.
3. Aguilar, S.; Barajas, J. (2005). Anatomía de la madera de especies arbóreas de un bosque mesófilo de montaña: Un enfoque ecológico-evolutivo. 1 Facultad de Estudios Superiores Iztacala, *Bol.Soc.Bot.Méx.* 77: 51-58 (2005). Universidad Nacional Autónoma de México. Edo. de México, México.
4. Aravena, J. et al (2002). Patrones de crecimiento arbóreo y reconstrucción de la temperatura en bosques de *Nothofagus pumilio* (Fagaceae) en el límite arbóreo superior de la Patagonia austral de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural.* 75: 361-376.
5. (Barry D. 2014). Refining dendrochronology to evaluate the relationship between age and diameter of riparian trees in the Redwood Creek Watershed. University of San Francisco.
6. Beltrán, L. (2011). Caracterización anatómica de anillos de crecimiento de especies forestales tropicales maderables con valor comercial para dendrocronología – Selva Central. Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente. Tesis Ingeniero Forestal y Ambiental. Huancayo, Perú.
7. Bijaksana, S. Ngkoimai, L.; D' Arrigo, R.; Krusic, P.; Palmer, J.; Sakulich, J.; Zulaikah, S. (2007). Status of tree-ring research from teak (*Tectona grandis*) for climate studies. Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Bandung Institute of Technology, Bandung, Indonesia. Department of Physics, Haluoleo University, Kendari, Indonesia. Tree-Ring Laboratory, Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University, Palisades, USA. Department of Physics, State University of Jakarta, Jakarta, Indonesia.
8. Botosso, P.; Póvoa, P. (2002). Conocer la edad de los árboles. Importancia y aplicación. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. Ministerio de Agricultura e do Abastecimento.
9. Bräuning, A. (2010). Especial para la revista "Dendroecología Tropical". Editorial. Published online. Springer-Verlag.
10. Bräuning & Burchardt (2008). Detection of growth dynamics in tree species of a tropical mountain rain forest in southern Ecuador. Institute of Geography, Azenbergstr. 12, D-70174 Stuttgart, Germany.
11. Briceño, A. (2002). El Aliso *Alnus acuminata* H.B.K. hospedero de dos especies de Chrysomelidae (Coleoptera) en Los Andes Venezolanos. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado, Mérida, Venezuela. *Rev. Forest. Venez.* 46(1): 53-57.
12. Brien, R., and Zuidema P. (2005). Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: A test for six species using tree ring analysis. Springer-Verlag.
13. Campos, L. (2009). Universidad Agraria La Molina. Escuela de Posgrado. Especialidad en Bosques y Gestión de Recursos Forestales. Dendrocronología en árboles de Tornillo, *Cedrelinga catenaeformis* Ducke (Fabaceae) del Centro de investigaciones Jenaro Herrera en el noreste de la Amazonía, Región Loreto, Perú. Tesis para optar el Grado de Magister Scientiae. Lima, Perú.



14. Cook, E.R. y Holmes, R. L. (1984). User's Manual for program ARSTAN. Laboratory of Tree Ring Research. University of Arizona, Tucson.
15. Devall, M.; Parresol, B.; Wright, J. (1995). Dendroecological analysis of *Cordia alliodora*, *Pseudobombax septenatum* and *Annona spraguei* in Central Panama. IAWA Journal, Vol. 16(4): 411-424.
16. Díaz, O. (2003). Anatomía de maderas. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
17. Easdale, T.; Sabaté, S.; Grau, A. (2005). Don't camp beside the river: structure and dynamics of Andean alder (*Alnus acuminata*) forest affected by river floods, northwestern Argentina. Revista Chilena de Historia Natural 78: 711-722. Laboratorio de Investigaciones Ecológicas de las Yungas, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina.
18. Enquist, B.; and Leffler, J. (2000). Long-term tree ring chronologies from sympatric tropical dry-forest trees: Individualistic responses to climatic variation. National Center for Ecological Analysis and Synthesis. Ecology Center, Utah State University, Logan, USA.
19. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. (2004).
20. Ferreira, M. (1968). Estudos da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus saligna* Smith. 72p. Tese (Doutorado em Agronomia)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
21. Fritts, H. (1976). Tree Rings and Climate. Laboratory of Tree-Ring Research University of Arizona, Tucson, Arizona. USA.
22. Giraldo, J. (2011). Dendrocronología en el trópico: Aplicaciones actuales y potenciales. Artículo de revisión. Colombia Forestal Vol. 14(1): 97-111/ Enero-Junio, 2011
23. Gourlay, I. (1995). The definition of seasonal growth zones in some African *Acacia* Species – A Review. IAWA Journal Vol. 16 (4), 1995: 353-359. Oxford Forestry Institute Department. Plant Sciences. University of Oxford.
24. Grissino-Mayer, H.D. 2001. Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57(2): 205–221.
25. Grissino, H. (1996). Tree Ring. <http://web.utk.edu/grissino/>
26. Herrera, J. (1999). La dendrocronología. Un medio básico para conocer la historia de nuestros bosques. Euskonews & Media N° 22.
27. Hinostroza, D. (2013). Caracterización de anillos de crecimiento de tres especies forestales con fines dendrocronológicos – Valle del Mantaro, Junín. Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente. Tesis para Optar el Título de Ingeniero Forestal y Ambiental. Huancayo, Perú.
28. Holmes, R.L. (1983). Computer-assisted quality control in Tree-ring Dating and Measurement. *Tree-ring Bull.* 44:69-75.

29. Instituto Geofísico del Perú. (IGP). (2005). Diagnóstico de la cuenca del Mantaro bajo la visión del cambio climático. Editor: CONAM – Consejo Nacional del Ambiente. TYPOGraphics E.I.R.L. San Borja Lima, Perú.
30. ----- . (2010). Cambio climático en la cuenca del río Mantaro. “Manejo de riesgos ante eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) en la cuenca del río Mantaro MAREMEX – Mantaro”. Lima, Perú.
31. ----- . (2012). “Eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) en el valle del Mantaro”. Lima, Perú.
32. Journal of Energy and Natural Resources (2014). Fibre, physical and mechanical properties of Ghanaian hardwoods. 2014; 3(3): 25-30. Published online June 20, 2014 (<http://www.sciencepublishinggroup.com/j/jenr>).
33. Kaennel and Schweingruber, (1995). Multilingual glossary of dendrochronology.
34. Lobao, S. (2011). Dendrocronología, fenología, atividade cambial e qualidade do lenho de árvores de *Cedrela odorata* L., *Cedrela fissilis* Vell. e *Schizolobium parahyba* var. *Amazonicum* Hub. ex Ducke, no estado do Acre, Brasil. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de Sao Paulo, Piracicaba.
35. Miranda et al (2009). Potencial del uso del Fresno (*Fraxinus udhei*) en estudios dendrocronológicos. Departamento de Minas Metalurgia y Geología, Universidad de Guanajuato.
36. Morales, M.; Villalba, R.; Grau, R.; Paolini, L. (2004). Rainfall-Controlled tree growth in high-elevation subtropical Treelines. Departamento de dendrocronología e historia ambiental, Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA). Mendoza, Argentina.
37. Morales et al (2001). Potencialidad de *Prosopis ferox* Griseb (Leguminosae, subfamilia: Mimosoideae) para estudios dendrocronológicos en desiertos subtropicales de alta montaña.
38. Moya, R.; y Tomazello, M. (2009). Wood Density Variation and Tree Ring Demarcation in *Gmelina arborea* Trees Using X-Ray Densitometry. Universidae de Sao Paulo. Departamento de Ciencias Florestais- ESALQ/LCF.
39. Moya, R.; Muñoz, F.; Salas, C.; Berrocal, A.; Leandro, L.; Esquivel, E. (2010). Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas Técnicas. Editorial Corporación Garro y Moya.
40. Payette, S.; Delwaide, A.; Simard, M. (2010). Frost-ring chronologies as dendroclimatic proxies of boreal environments. Geophysical Research Letters, vol. 37, 102711. Université Laval, Quebec, Canada. University of Wisconsin-Madison, USA.
41. Pedersen, D. (2010). Frost events, Frost damage, and potential frost ring formation in wood y species of Northern Arizona. A Professional paper Submitted in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Forestry. Northern Arizona University.
42. Pereyra, M. (2011). Potencialidad de *Cedrela odorata* L., para estudios dendroclimáticos y dendroecológicos en Selva Central del Perú. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental. Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente. Huancayo, Perú.

43. Ramírez, J. (2007). Relación entre señal climática de cronologías de *Capparis odoratissima* Jacq. y *Cercidium praecox* (Ruiz & Pav. Ex Hook.) Harms con la variabilidad climática local y global de la Guajira, Colombia. Tesis presentada como requisito parcial para optar el título de Magister en Bosques y Conservación Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
44. Rodríguez, R. (2008). Curso de Dendrocronología básica. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Laboratorio de Dendrocronología. Piura, Perú.
45. Rodríguez, R., Mabresa, A., Luckman, B.; Evans, M.; Masiokas, M.; Ektvedt, T. (2005). "El Niño" events recorded in dry-forest species of the lowlands of northwest Peru. Facultad de Ingeniería, Universidad de Piura, Apartado 353, Piura, Perú. Department of Geography, University of Western Ontario, London, Canada. Laboratory of Tree-Ring Research (LTRR), University of Arizona, Tucson, USA. Department of Geography, University of Brigen, N-5020 Brigen, Norway.
46. Roig, F., Jimenez, J., Villanueva, J., Luckman B., Tiessen H., Medina, A., Noelleeyer E. (2005). Anatomy of growth rings at the Yucatán Peninsula. Laboratorio de Dendrocronología, IANIGLA-CONICET, Mendoza, Argentina. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México. CENID-RASPA-INIFAP, Durango, México. Department of Geography, University of Western Ontario, London, Ontario, Canada. Institut für Tropen- Pflanzenbau, Universität Göttingen, Germany. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa, Argentina.
47. Roig, F.; Fernandez, M.; Gareca, E.; Altamirano, S.; y Monge, S. (2001). Estudios dendrocronológicos en los ambientes húmedos de la Puna Boliviana. Rev. Bol. Ecol. 9: 3-13. Laboratorio de Dendrocronología, IANIGLA-CONICET, Mendoza, Argentina.
48. Rosada de Oliveira, I. (2014). Avaliação do crescimento e da qualidade da madeira de árvores de *Cariniana legalis* (Martius) O. Kuntze submetidas a diferentes espaçamentos. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais. Piracicaba, São Paulo, Brasil.
49. Samuelson, L.; Eberhardt, T.; Bartkowiak S.; Johnsen K. (2013). Relationships between climate, radial growth and wood properties of mature *Loblolly pine* in Hawaii and a northern and southern site in the southeastern United States. Forest Ecology and Management. Elsevier.
50. Sánchez, L.; Amado, G.; Criollo, P.; Carvajal, T.; Roa, J.; Cuesta, A.; Conde, A. Umaña, A.; Bernal, L.; Barreto de Escovar, L. (2009). El Aliso (*Alnus acuminata* H.B.K.) como alternativa silvopastoril en el manejo sostenible de praderas en el trópico Colombiano. Colombia. Corpoica. 56 p.
51. Stokes and Smiley, (1968). An Introduction to tree-ring dating. Chicago. University of Chicago Press.
52. Taquire, A. y Paucar, J. (2011). Especies leñosas del Valle del Mantaro. Huancayo, Perú.
53. The International Geosphere-Biosphere Programme, (1994). Global change report N° 28.
54. Tomazello, M.; Botosso, C.; Lisi, C. Potencialidade da família Meliaceae para dendrocronologia em regiões tropicais e subtropicais. In: Roig, F. A. (Ed.) Dendrocronologia en América Latina. Mendoza: EDIUNC, 2000. p.381 - 431.
55. Tomazello, M.; Botosso, C.; Lisi, S. (2001). Indicadores ambientais conceitos e aplicações. EDUC. Editora da PUC-SP.

56. Tomazello, M., C. Lisi, N. Hansen & G. Cury. (2004). Anatomical features of increment zones in different tree species in the State of Sao Paulo, Brazil. *Sci. Forestalis* 66: 46-55.
57. Tovar, O. (1990). Tipos de vegetación diversidad florística y estado de conservación de la Cuenca del Mantaro. The Rockefeller Foundation. UNA La Molina. Lima, Perú.
58. Vera, A., D. Ortega, P. Pérez, J. Rosero & M. Chavesta. (2011). Avances en la caracterización e identificación anatómica de los anillos de crecimiento de la especie *Junglans neotropica* Diels (Nogal) para estudios dendrocronológicos en el fundo Génova, Junín (Perú).
59. Villanueva et al, (2004). Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico N° 2.
60. Weng, Ch.; Bush, M.; Chepstow-Lusty. (2004). Holocene changes of Andean alder (*Alnus acuminata*) in highland Ecuador and Peru. Department of Biological Sciences, Florida Institute of Technology, Melbourne, Florida, USA. *Journal of Quaternary Science* (2004). 19(7) 685-691.
61. Wimmer, R. (2002). Wood anatomical features in tree-rings as indicators of environmental change. Institute of Botany. Universität für Bodenkultur Wien, Austria. *Dendrochronologia* 20/1-2 (2002) 21-36.
62. Wimmer, R. y Vetter, R. (1999). Tree-ring analysis: Biological, Methodological and Environmental Aspects. Wallingford. Reino Unido. CABI Publishing.

<http://www.ldeo.columbia.edu/tree-ring-laboratory/resources/software>

<http://web.utk.edu/~grissino/>

<https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/abstracts/22/3/JEQ0220030611>

<http://www.dehuancayo.com/el-valle-del-mantaro.html>

Potencialidad

# DENDROCLIMÁTICA

de *Alnus acuminata* H.B.K.  
para el Valle del Mantaro



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

 **Atena**  
Editora

Año 2023



Potencialidad

# DENDROCLIMÁTICA

de *Alnus acuminata* H.B.K.  
para el Valle del Mantaro



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

 **Atena**  
Editora

Año 2023