



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación

PRIMER SEMINARIO

Modelos predictivos de la calidad estructural de la madera juvenil de pino híbrido basados en métodos no destructivos

Doctorando: Mgter. Ing. Ftal. Rosa Ángela WINCK.

Directora: Dra. María Elena GAUCHAT.

Co-Directora: Dra. María Cristina AREA.

Posadas, 04 de Septiembre del 2019





- Introducción
- Objetivos
 - General
 - Específicos
- Hipótesis
- Materiales y Métodos
 - Actividades/Avances
 - Análisis de datos
- Aplicabilidad (Originalidad)
- Hitos de Evaluación
- Agradecimientos

INTRODUCCIÓN



Calidad de la madera

Pulpa y papel

Dimensiones de las traqueidas/fibras
Composición química

Usos de apariencias

Impacto visual

Veteado
Libre de nudos
manchas
defecto

Usos estructurales

Resistencia
Rigidez
Densidad
AMF
Estabilidad dimensional

“La calidad de la madera se determina a través de varias características de la misma, tales como: densidad, **prop. de madera juvenil/madera adulta**, prop. de duramen/albura, longitud de la fibra, ángulo microfibrilar, madera de compresión, nudos, y extractivos”.

Fuente: Jozsa and Middleton, 1994.

Demanda creciente de madera y sus productos

Al año 2015

Argentina 1.120.411 hectáreas



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca 2015.

Corrientes 473.983 hectáreas



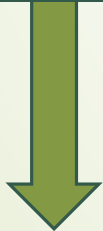
Consejo Federal de Inversiones, 2015.

Misiones 419.008 hectáreas



80% del
género
Pinus.
(332.255
hectáreas)

Ministerio del Agro y la
Producción-
Subsecretaría de
Desarrollo Forestal –
Provincia de Misiones,
2016.



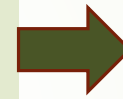
Σ **892.992** hectáreas (80% del total del país).



Programas de mejora

Tasa de crecimiento
Aspectos fenotípicos
Rectitud de fustes
Forma de la copa

Nueva propuesta:
Es la incorporación de parámetros,
indicadores de la calidad estructural de la
madera en los programas de mejora
(Ivković *et al.* 2006; Evison y Apiolaza, 2015)




MOE/Densidad/AMF
(Zobel y Van Buijtenen,
1989; Zobel y Jet, 1995;
Hannrup *et al.* 2004; Raley
et al., 2007 y
Mora *et al.*, 2009)



Evaluación no destructiva es la disciplina que
identifica las propiedades físicas y mecánicas
de un material sin alterar sus capacidades de
uso final (Ross, 1999)



Demanda
mucho tiempo
Altamente
costoso



Velocidad del
sonido de árboles
en pie y la densidad
*(Merlo et al., 2014 y
Raley et al., 2007)*



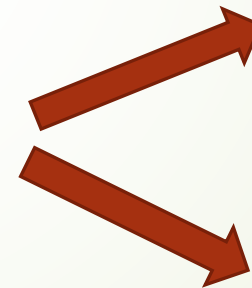
Estimaron
el MOE



Edad cambial
(Moore et al., 2014)



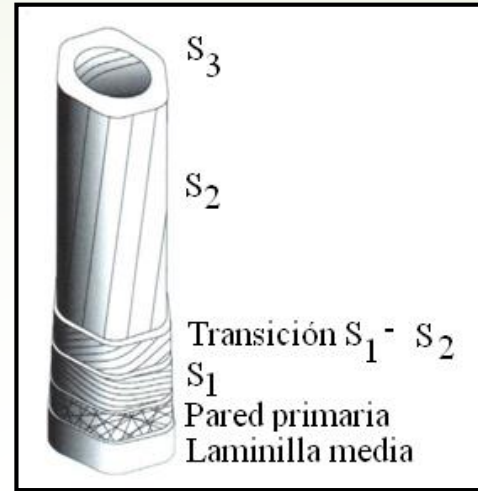
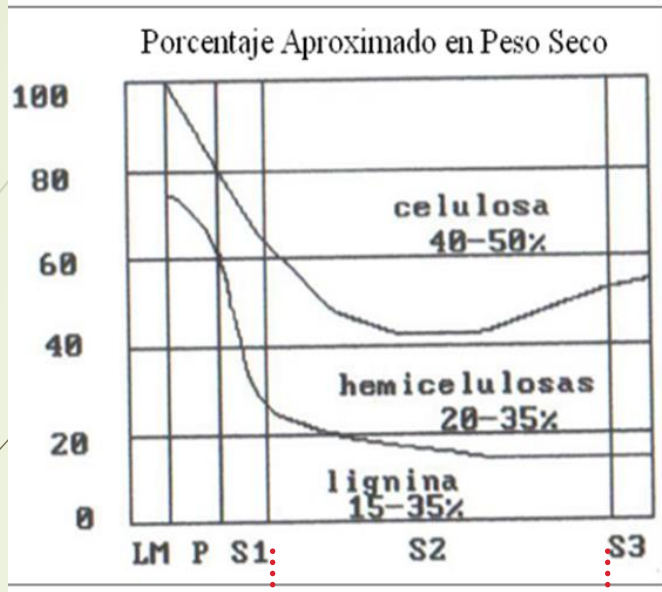
Variación
radial del
AMF



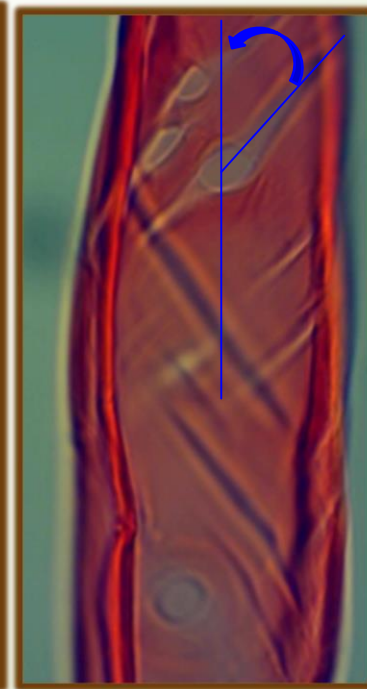
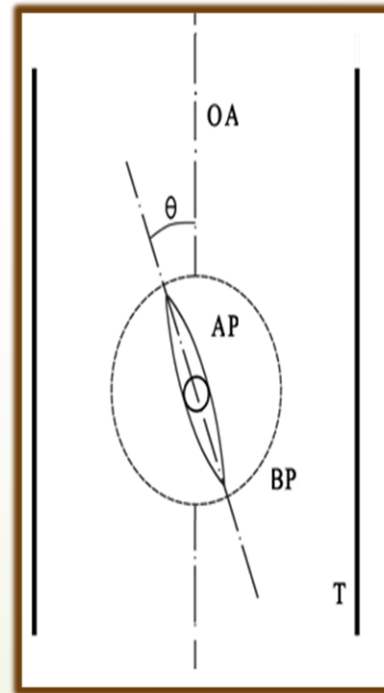
**Función logística
modificada**

**Michaelis-
Menten
modificada.**

Método de Medición del Ángulo Microfibrilar



**S2 90%
de pared
celular**



Fuente: *Yin et al., (2011)*



OBJETIVO GENERAL

Hallar modelos de ajustes predictivos de la calidad estructural de la madera para usos sólidos en edades tempranas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

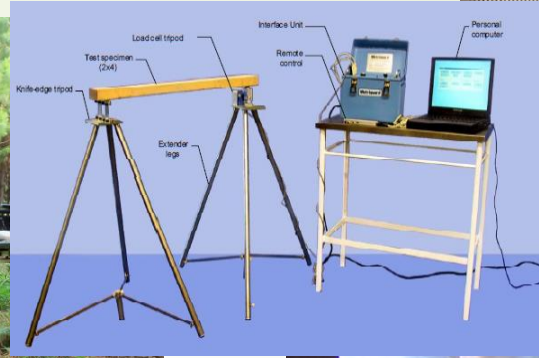
1. Evaluar la calidad de la madera de árboles en pie, mediante la medición del tiempo de “traslado de la onda”
2. Evaluar la calidad de la madera de rollizos de mediante la técnica de “resonancia”.
3. Evaluar las propiedades tecnológicas de la madera aserrada (escuadrías comerciales y en probetas) con diferentes métodos no destructivos y destructivos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

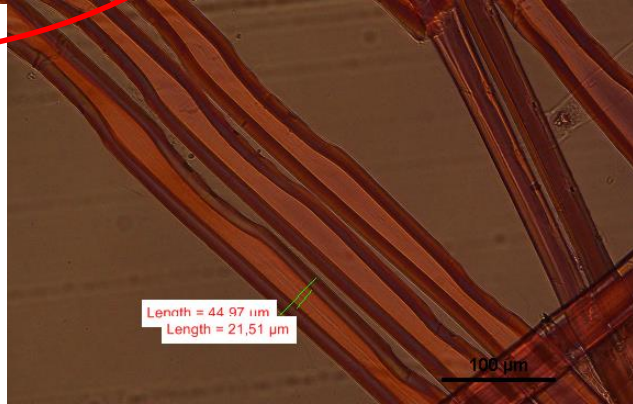
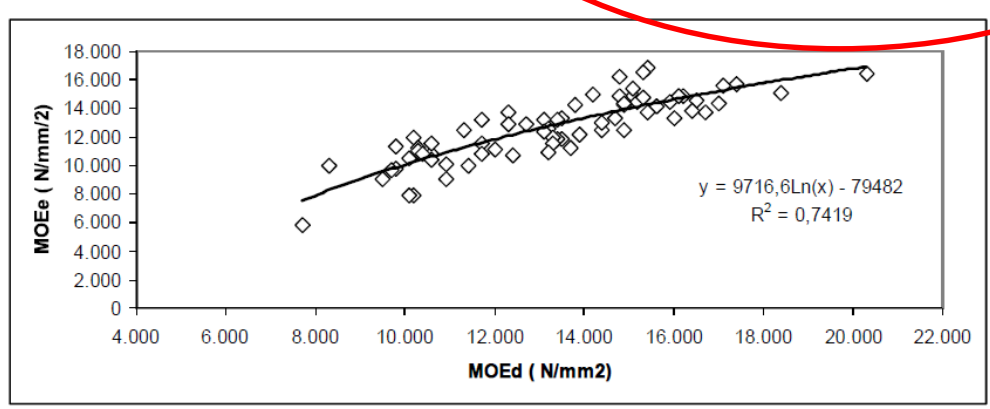
4. Evaluar los caracteres microscópicos: ángulo microfibrilar, espesor y proporción de pared celular, lumen y ancho total de las traqueídas.

5. Establecer relaciones entre diferentes variables estudiadas, a nivel árbol, rollizo, piezas aserradas y probetas.

6. Plantear modelos empíricos de regresión lineal múltiple que relacionen la velocidad del sonido con la edad, el módulo de elasticidad, la densidad y el ángulo microfibrilar.



Calidad de madera juvenil (Pino híbrido)



Mejoramiento Genético (Incluir selección por resistencia)

HIPÓTESIS

La evaluación indirecta de las propiedades físico-mecánicas de la madera mediante métodos sónicos

permite caracterizar de manera eficiente, la calidad estructural del material bajo estudio

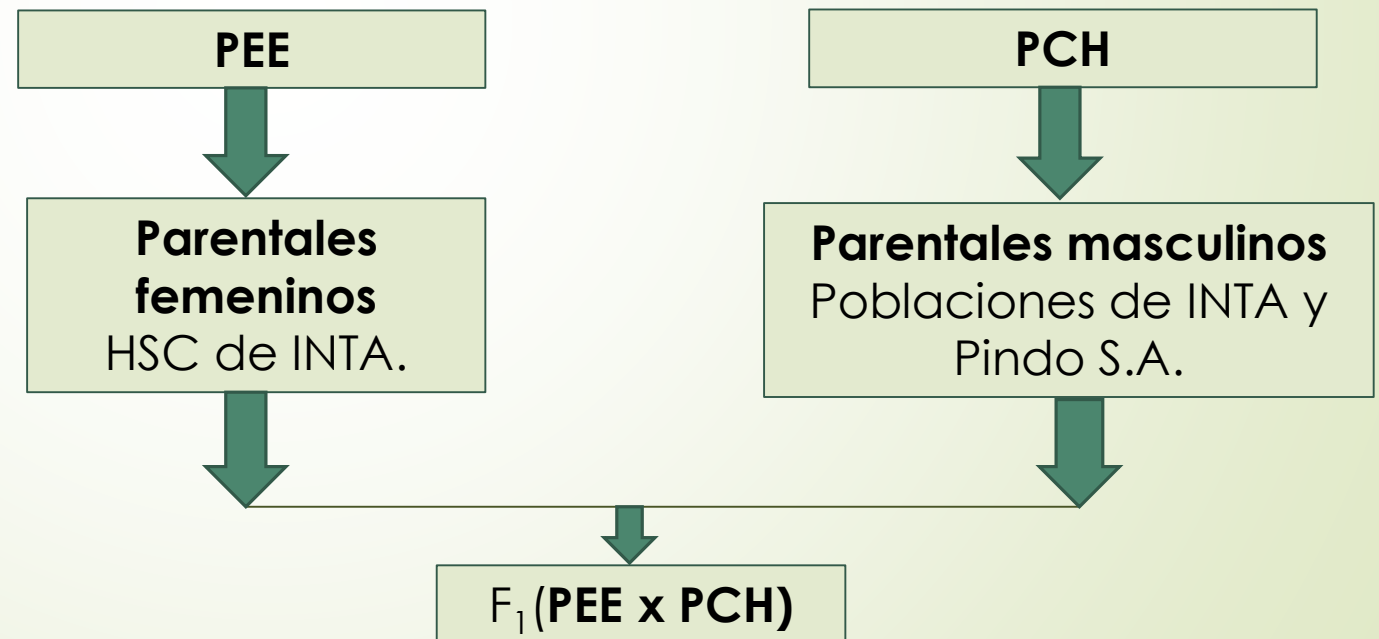
y proporciona información necesaria para la estimación de parámetros genéticos, deseables en un programa de selección.

MATERIALES Y MÉTODOS

Pinus elliottii var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PEE x PCH)



En el 2004, acuerdo entre el INTA y PINDO S.A. Se inicia un programa para la generación de híbridos F_1 entre PEE y PCH.



Localización de los Ensayos

	Caracterización de	
	PEExpCH_01	PEExpCH_02
Localidad	Pto. Laharrague	Colonia Delicia
Ubicación		
Latitud (°S)	26° 33'	26° 09'
Longitud (°O)	54° 40'	54° 26'
Altitud (msnm)	174	241
Tipo de suelo	Ultisol	Ultisol
Uso anterior	Bosque nativo	Pino
Plantación	10/10/07	26/07/07
Origen plantas	Semillas	Semillas
Nº de árboles	925	1980
Nº de familias	37	66
Nº de bloques	5	6
Parcela	5 Plantas	5 Plantas
Espaciamiento (m)	3 x 3	3 x 3
*Sobrevivencia	94	85

NOTA: *Sobrevivencia al 1er año (%).



Actividades (**Objetivo 1**)-Evaluación de árboles en pie

1. Se midió el dap y altura de los árboles de los ensayos 1 y 2 (2173 árboles).



A los 10 y 11
años de
edad



Actividades (Objetivo 1)-Evaluación de árboles en pie

2. Se midió el tiempo de “traslado de la onda” de todos los árboles (2173) de los ensayos 1 y 2.



A los 10 y 11 años de edad

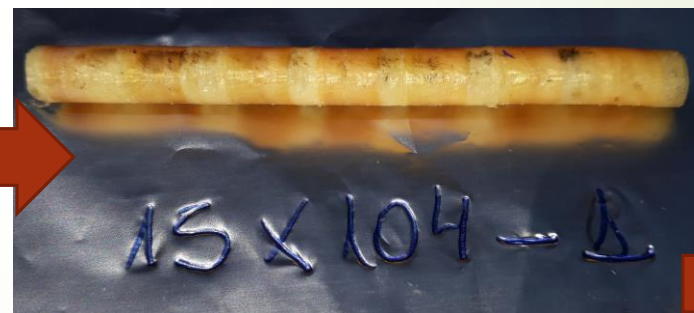
$$VS_n = 1000 * 1000 / SWT_n + 2,8$$

$$MOEd_n = \rho VS_n^2$$

Actividades (Objetivo 1)-Evaluación de árboles en pie

3. Se extrajo una muestra de 398 tarugos

A los 10 y 11 años de edad



Actividades (Objetivo 1)-Evaluación de árboles en pie

4. En laboratorio, a través de mediciones de los tarugos y pesadas con balanza de precisión se determinó el contenido de humedad y la densidad verde y básica.

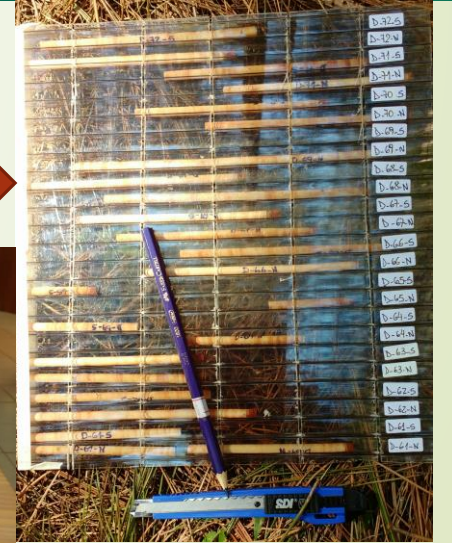
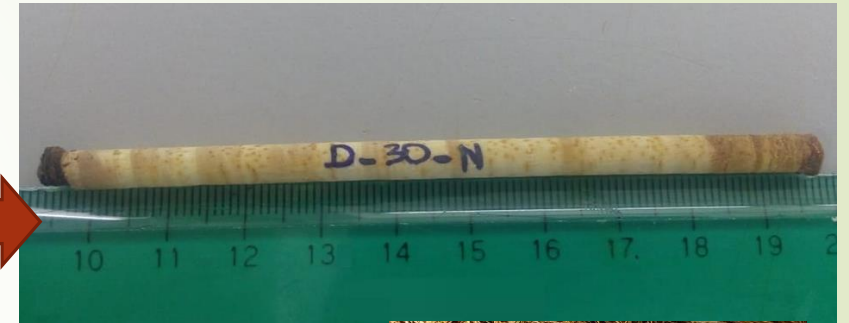
N° Ensayo	Familia	Bloque	Diámetro (mm)	Largo (mm)	Peso Húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	Cont. Hum. (%)	Vol. (mm ³)	Dens. Verde (kg/m ³)	Dens. Básica (kg/m ³)
1	15x104	1	5,23	87,22	1,88	0,96	48,90	1.873,74	1.003,50	512,77
2	49x40	1	5,15	82,49	1,64	0,70	57,37	1.718,33	951,86	405,80
3	20x42	2	5,21	76,98	1,65	0,63	61,76	1.641,13	1.003,88	383,88
4	10x115	2	5,68	70,28	1,48	0,60	59,56	1.780,81	833,38	336,98
5	36x108	1	4,95	82,97	1,66	0,85	48,72	1.596,69	1.041,09	533,85
6	18x115	2	4,75	85,06	1,74	0,68	60,75	1.507,31	1.153,91	452,86
7	36x108	2	4,95	75,49	1,64	0,60	63,30	1.452,75	1.126,35	413,36
8	10x45	1	5,68	78,90	1,67	0,60	63,90	1.999,23	834,87	301,37
9	5x102	1	5,34	77,87	1,50	0,58	61,39	1.743,98	859,93	332,06
10	49x108	2	5,42	74,04	1,48	0,69	53,42	1.708,26	867,20	403,92
11	10x45	2	5,33	78,26	1,60	0,71	55,64	1.746,16	915,15	405,98
12	34x115	1	5,10	75,83	1,51	0,64	57,75	1.549,07	975,42	412,12
13	49x104	1	5,13	74,88	1,60	0,54	66,32	1.547,71	1.030,68	347,09
14	10x66	2	5,21	77,43	1,57	0,65	58,66	1.650,72	953,40	394,13
15	10x40	2	4,99	76,83	1,63	0,56	65,79	1.502,53	1.084,91	371,18

A los 10 y 11 años de edad

Actividades (Objetivo 1)-Evaluación de árboles en pie

5. Se marcaron 150 árboles, 75 en cada sitio, (4,5% de error de muestreo, Pérez López, 2005).

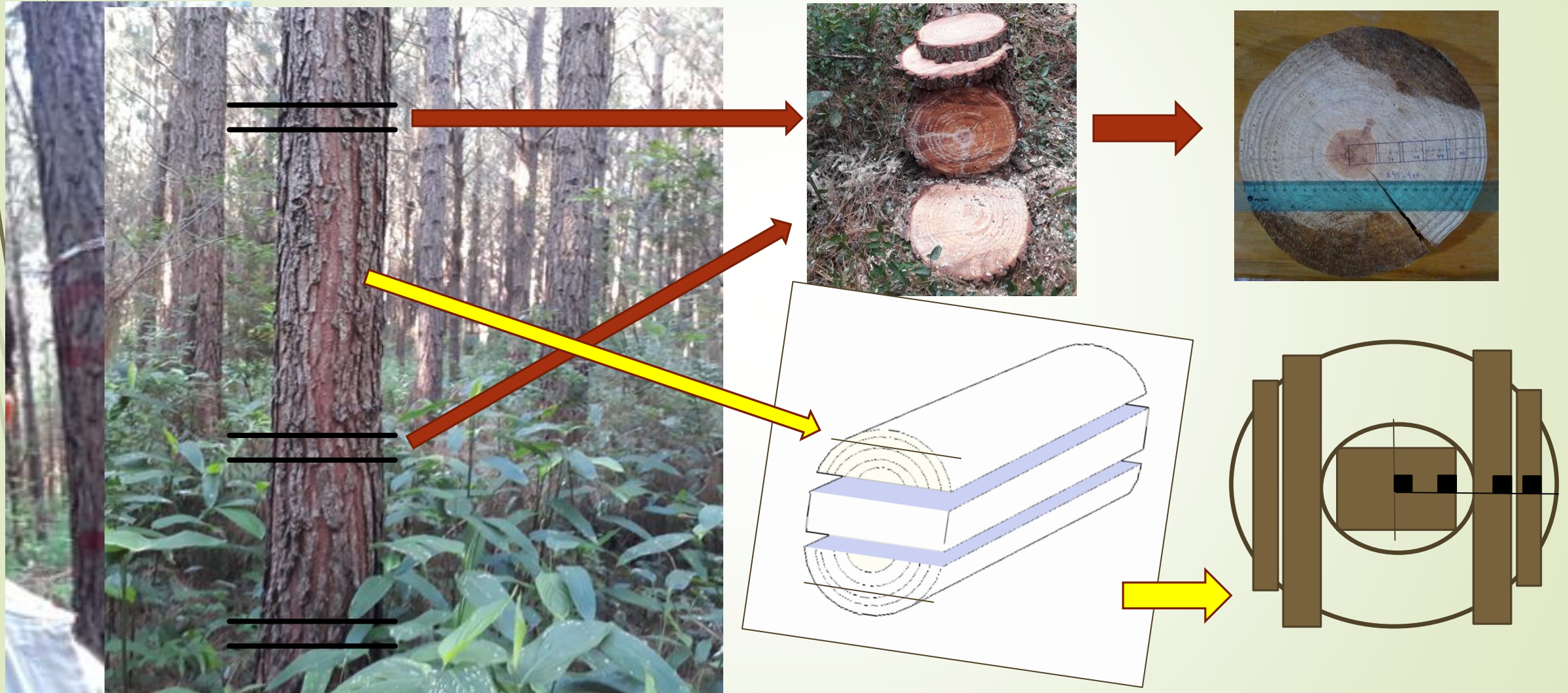
6. Se extrajeron 150 barrenas a la altura de 1,30 metros.



Actividades (Objetivo 2)-Evaluación de rollizos



1. Se marcaron 90 árboles (5,5% error de muestreo)



Actividades (Objetivo 2)-Evaluación de rollizos

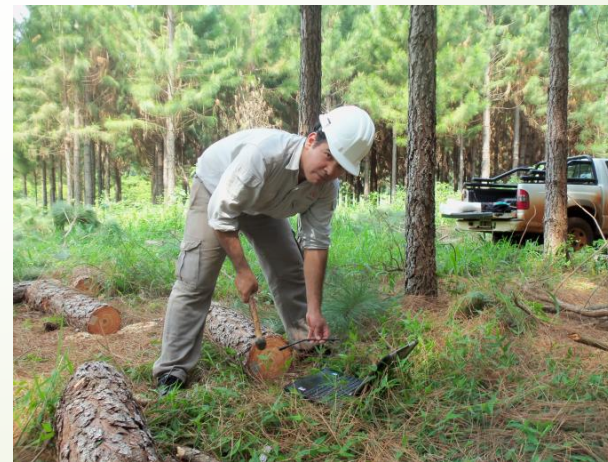
2. Se talaron los 90 árboles, se trozaron en largos de 3,15m.





Actividades (Objetivo 2)-Evaluación de rollizos

3. En ambos extremos de la troza, se tomó una rodaja de 1" y se identificó para determinar leño tardío.
4. Se identificaron las trozas con chapitas de plástico numerada, la misma se colocó en el centro de la troza con un martillo marcador.



Árbol	Troza	Frec. FFT
1	0761	
55	0770	



Actividades (Objetivo 2)-Evaluación de rollizos

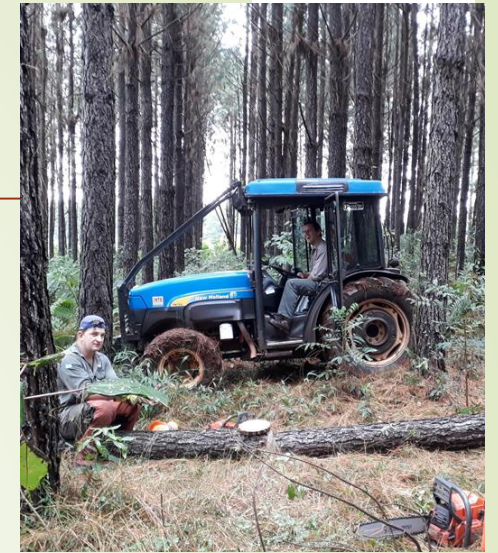
5. Los 90 rollos fueron clasificados por diámetro y transportado a la Industria

Clase diamétrica	Clase dap (cm)	Color	Línea de Aserrado	Escuadría Obtenida del Pan Central	Aprov. Lateral	Cant. rollos
1	14-16	azul	Hew Saw	3"x3"	-	65
2	16-24	rojo	Hew Saw	3"x5"	1"- 1/2"	
3	>24	sin pintar	Sierra Principal	3"x5"	1"- 1/2"	25
Total						90

5. En gabinete, con la frec. y la long. de la troza se estimó el MOEd para los rollizos.

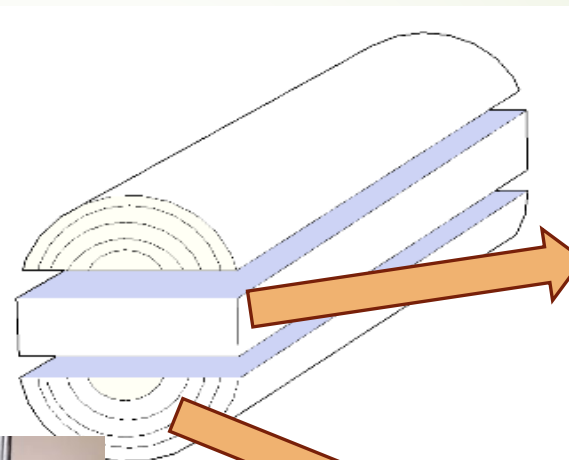
$$VS_n = 2 * Frec (Hz) * l (m)$$

$$MOEd_n = \rho VS_n^2$$



Actividades (Objetivo 2)-Evaluación de rollizos

8. Aserrado: se realizó el aserrado según la siguiente indicación:



Pan: 3"x3" y 3"x5"
(85mmx85mm y
85mmx135mm)

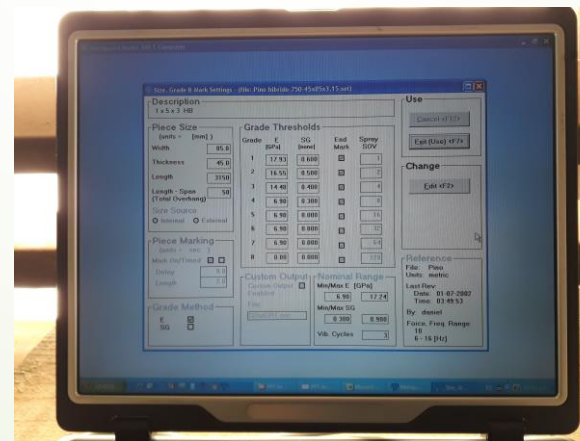
9. Las 275 piezas fueron secados al horno un contenido de humedad del 12%.



Laterales de: 1 ½" y 1"
(45mm y 28mm).

Actividades (Objetivo 3)-Evaluación de madera aserrada y probetas

1. Se midió el espesor, ancho y largo de cada pieza (275).
2. Con Xilohigrómetro se determinó el contenido de humedad de cada pieza.
3. Con métodos acústicos se determinó Tiempo de “traslado de la onda” (TreeSonic). Frecuencia (Software FFT). MOEd y densidad (Metriguard)



Actividades (Objetivo 3)-Evaluación de madera aserrada y probetas

4. En Gabinete, se determinó el MOE dinámico con los distintos métodos.
5. Se determinó el contenido de humedad con Xilohigrómetro.
6. Se determinó la resistencia a la flexión estática en piezas enteras.

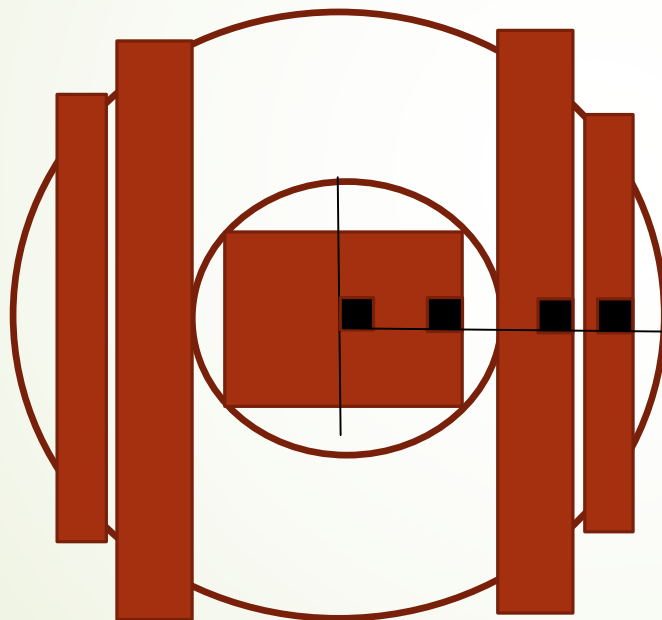


Foto: Máquina Universal de ensayo FCF-UNaM

Actividades (Objetivo 3)-Evaluación de madera aserrada y probetas

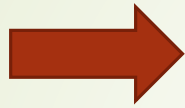
Pendiente:

7. Preparar probetas de 4 posiciones dentro del rollo.



8. Determinar la resistencia a la flexión estática en probetas estandarizadas.
9. Determinar densidad y contenido de humedad en laboratorio.

Actividades (Objetivo 4)-Nivel Anatómico



Ácido acético glacial puro

50%

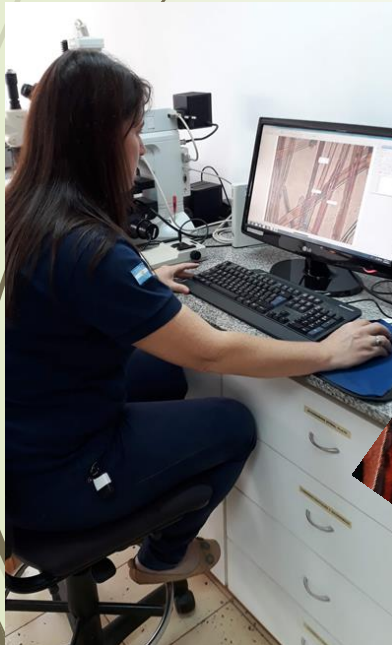


Peróxido de hidrógeno 130 vol.

50%



Llevados a estufa a 70°C durante 24 horas



Actividades (Objetivo 5)-Relaciones entre variables

Pendiente:

1. Armar las bases de datos con todas las variables medidas y hacer los análisis correspondientes.
 2. Establecer relaciones entre módulo de elasticidad dinámico, módulo de elasticidad y de rotura a la flexión estática (piezas enteras y en probetas), densidad estacionada y básica, ángulo microfibrilar, ancho y lumen de traqueidas, espesor y proporción de pared celular de la madera de pino híbrido de distintas familias.
 3. Verificar la eficiencia de los equipos disponibles para determinar el módulo dinámico de la madera sobre árboles en pie, en rollizos y en piezas aserradas de pino híbrido F_1 en edad temprana.
-



Actividades (**Objetivo 6**): Desarrollo de modelos de predicción

Pendiente:

1. Armar las bases de datos y hacer los análisis correspondientes.
 2. Análisis estadísticos de los datos: análisis preliminares.
 3. Analizar los datos a través de modelos lineales mixtos.
 4. Plantear modelos empíricos de regresión lineal múltiple que relacionen la velocidad del sonido con la edad, el módulo de elasticidad y el ángulo microfibrilar.
 5. Probar los modelos citados en los antecedentes.
-

Análisis de Datos



Comparaciones entre Sitios (2)

Comparaciones entre Ranking de Crecimiento (3)

Comparaciones entre Familias (15)

Desarrollos de Modelos de Predicción del MOE

Modelos Lineales Mixtos



Aplicabilidad (originalidad)

- Generar información de las propiedades físico-mecánicas de la madera de un material “nuevo” de desarrollo local, el pino híbrido F₁ INTA-PINDO (*PEE*x*PCH*).



- Calibrar equipos de medición (MND) para utilizarlos en un programa de mejoramiento.

- Poder determinar indicadores de calidad en esta especie, para introducirlos en los programas de mejora, que buscan acortar los ciclos de corta, sin afectar la calidad de la madera.





Hitos de la Evaluación

- Protocolo de evaluación de materiales genéticos de desarrollo local, con técnicas no destructivas.
- Modelos de estimación del módulo de elasticidad de la madera utilizando la velocidad del sonido como principal variable predictora.



Avance Académico

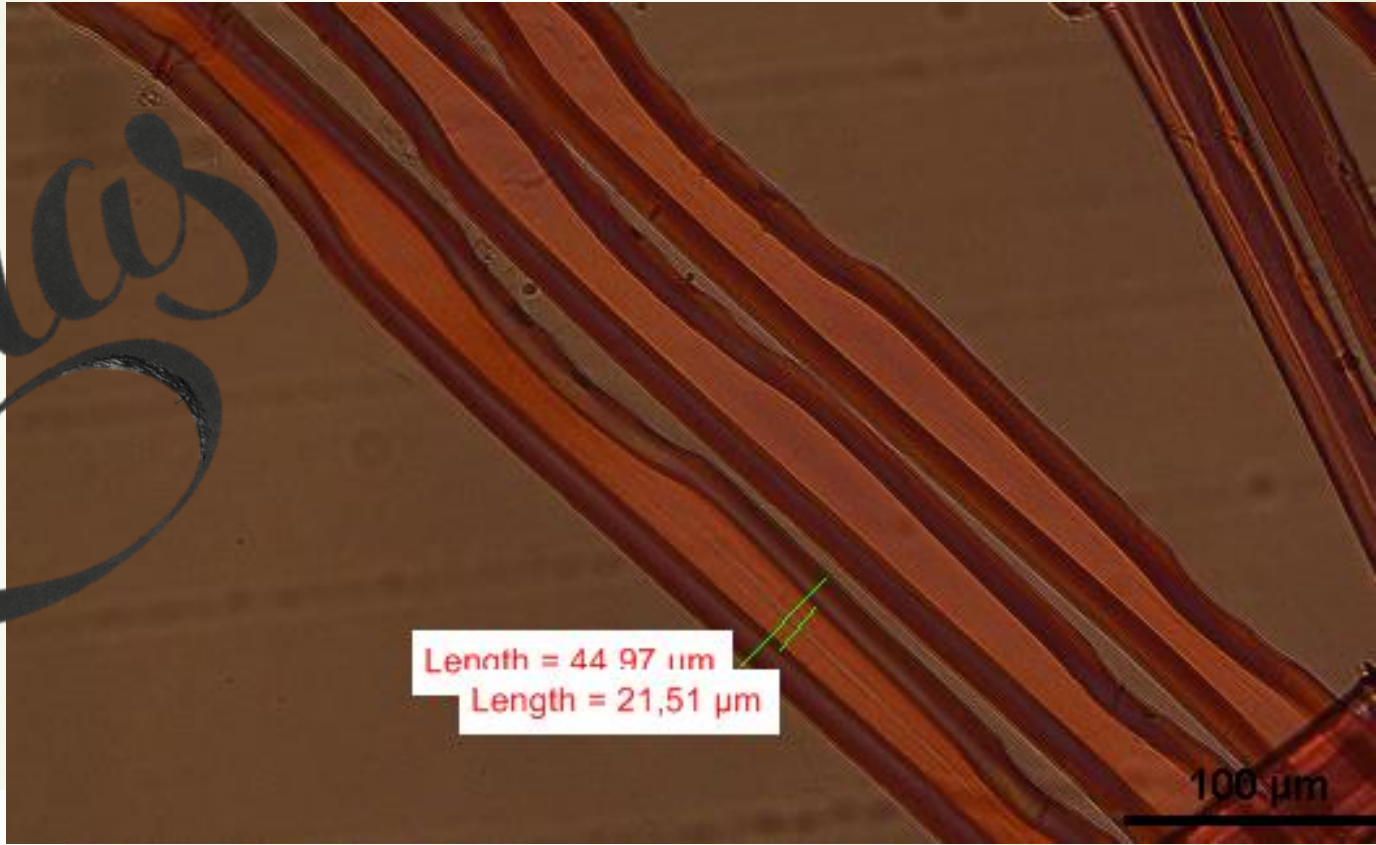
Cursos	Cantidad de horas
Maestría en Ciencias de la Madera Celulosa y Papel	250
Método Numéricos y Modelización	40
Aplicación de Modelos Mixtos	45
Nanocelulosa: Métodos de Producción, Caracterización Superficial y Aplicaciones	30
Estática y Resistencia de Materiales para Tecnologías de Productos Forestales	30
Estructura de la Madera y su Variabilidad	40
Materiales Compuestos	30
Total de horas	465

AGRADECIMIENTOS



- Al INTA
- A mi directora Dra. María Elena Gauchat y codirectora Dra. María Cristina Area.
- A la empresa Pindo SA.
- A la Facultad de Ciencias Forestales de la UNaM.
- A los técnicos de INTA.

Graculus



??