

La genética forestal y su impacto en la productividad



CONFERENCIA
FORESTAL
JUL 13 -14 **2023**

Por Juan José Acosta Jaramillo



NC STATE UNIVERSITY

ORGANIZAN

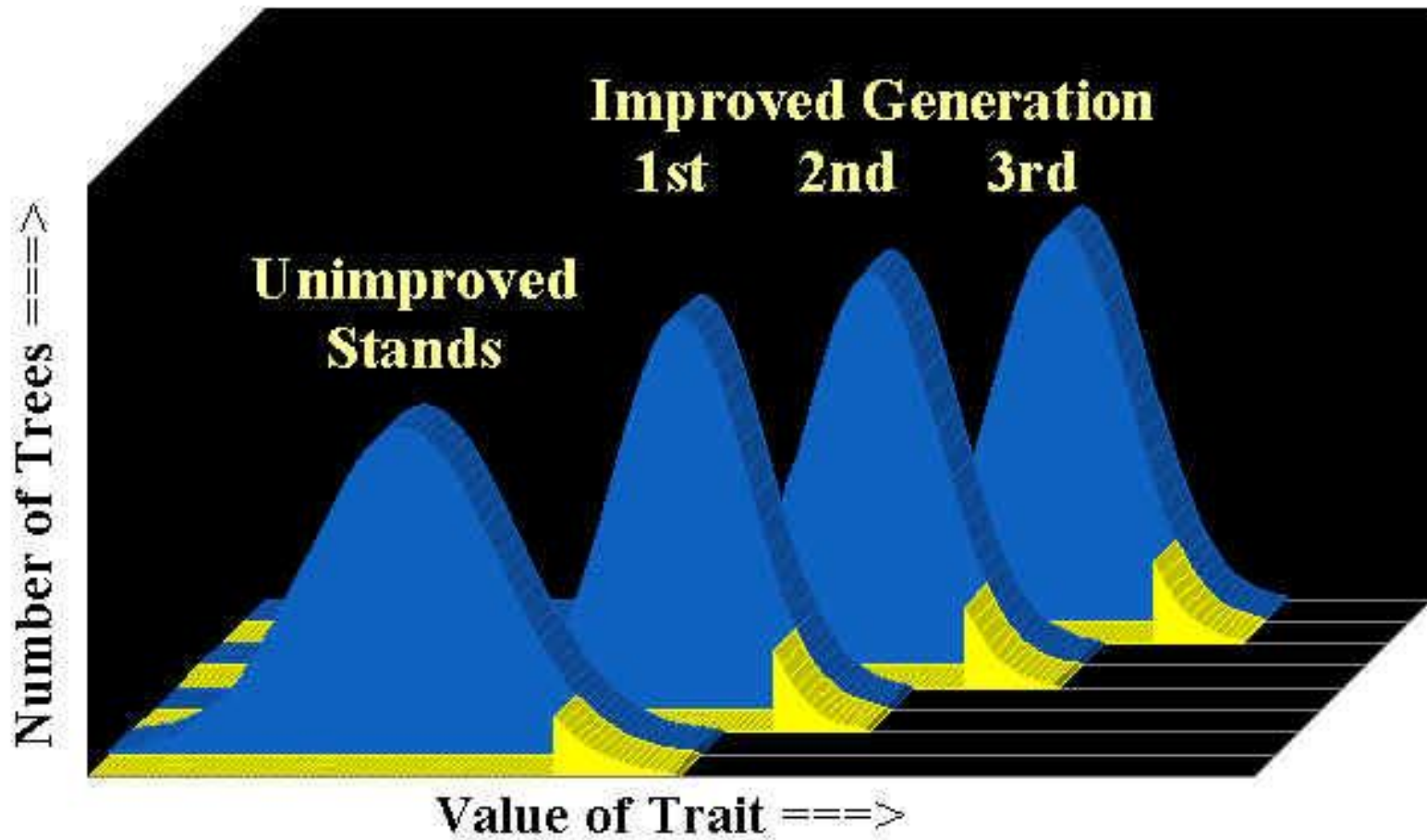


Contenido

- Conceptos generales de mejoramiento genético forestal (MGF)
- El ciclo de MGF
- Importancia operativa del ciclo de MGF en la productividad
- Tendencias globales en MGF
- Retos
- Reflexiones



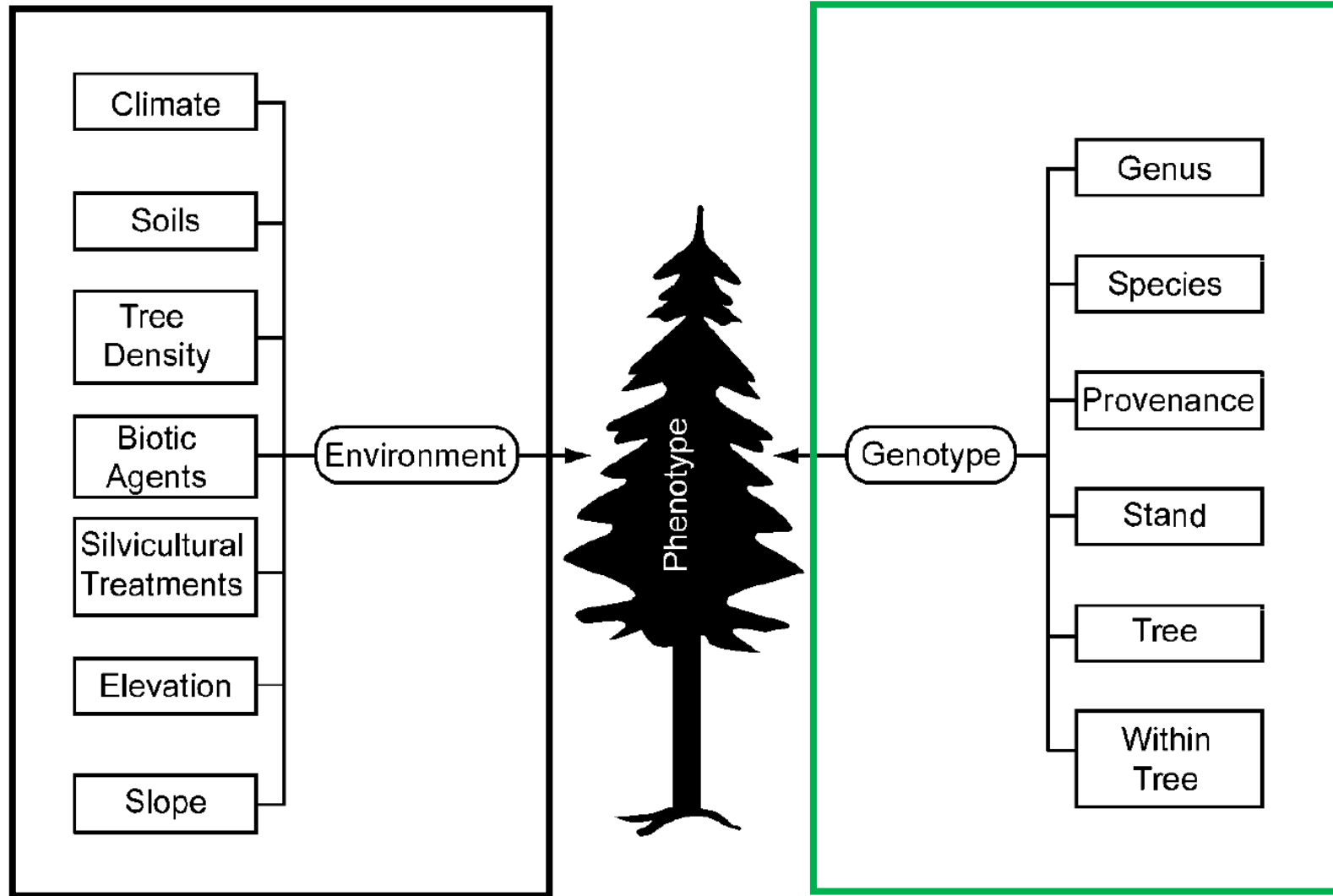
Mejoramiento Genético Forestal



El proceso tradicional de mejoramiento genético ha llevado al avance de nuevas generaciones de germoplasma con mejores rendimientos



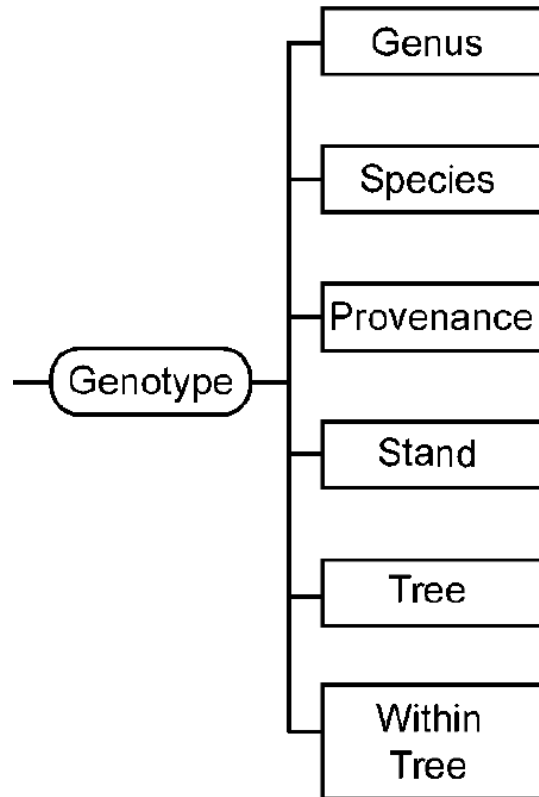
Fenotipo = Genotipo + Ambiente



White *et al.* 2007 Forest Genetics.
CAB International



Variación Genotípica



Variación a este nivel constituye **la base fundamental de los programas de MGF**

- Identificar especie
- Evaluar procedencias
- Evaluar Familias
- Evaluar Arboles
- Estudios de procedencias y progenies
- Estudios clonales



Cuales son los objetivos de los estudios de procedencias y progenies?

- Determinar la localización geográfica de las mejor(es) fuente(s) de semillas.
- Desarrollar rodales semilleros (razas locales), a partir de las mejores procedencias, para servir como una fuente semillera de corto plazo hasta que los huertos semilleros alcancen su producción.



Cuales son los objetivos de los estudios de procedencias y progenies?

- Determinar la calidad genética de los padres
- Identificar las mejores familias y los mejores individuos para cruzamientos futuros
- Calcular parámetros genéticos (heredabilidad, correlaciones genéticas entre variables, etc) para estimar las ganancias potenciales del mejoramiento genético.



Los ensayos de MGF necesitan un buen control de malezas los primeros años (cierre de dosel)



E. urophylla

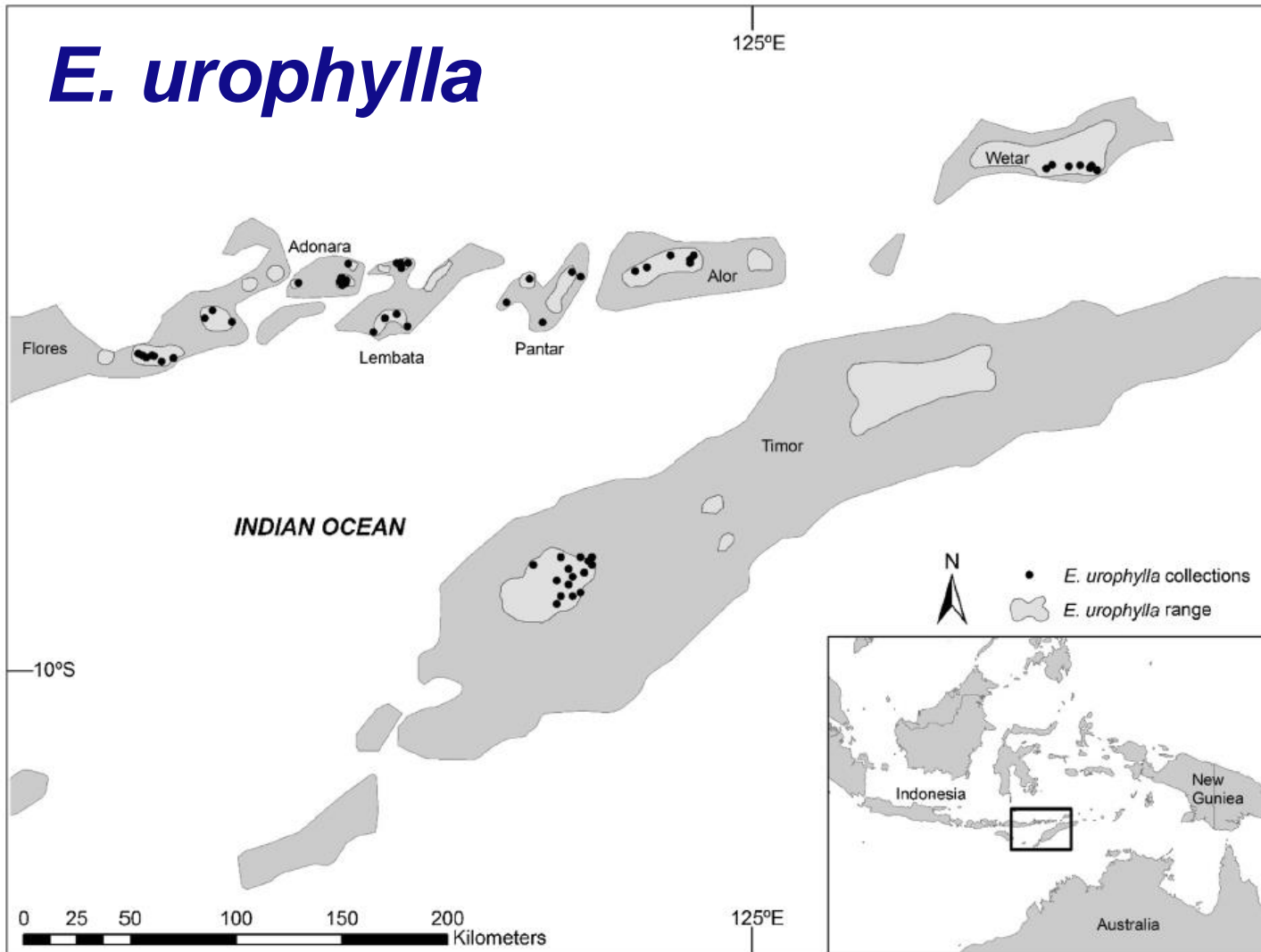


Fig. 1 Natural range of *E. urophylla* and provenances where family seed collections were made on seven islands in Indonesia

125 estudios de campo en 5 países.

Country	Tests
Brazil	6
Colombia	29
Mexico	14
South Africa	39
Venezuela	37

Tree Genetics & Genomes (2015) 11: 57
DOI 10.1007/s11295-015-0889-3

ORIGINAL PAPER

Provenance variation and within-provenance genetic parameters in *Eucalyptus urophylla* across 125 test sites in Brazil, Colombia, Mexico, South Africa and Venezuela

G. R. Hodge¹ · W. S. Dvorak¹



Prov. Gains (Phat %, Top and Bottom 5)

Brazil

Prov	Island	Provname	Phat (%)
3	Adonara	Muda	32.1
50	Wetar	Puaanan	29.0
52	Wetar	Talianan	28.1
15	Alor	Pintu_Mas	26.7
33	Lembata	Jontona_/_Ille_Ap	24.6
7	Timor	Naususu	-26.1
44	Timor	Nunbena	-27.0
8	Timor	Mollo	-27.3
55	Adonara	Watololong	-27.5
23	Timor	A_esrael	-34.9

Colombia

Prov	Island	Provname	Phat (%)
48	Flores	Palueh	25.6
52	Wetar	Talianan	25.2
50	Wetar	Puaanan	23.0
40	Timor	Bonmuti	20.4
31	Lembata	Ille_Kerbau	20.2
7	Timor	Naususu	-19.8
23	Timor	A_esrael	-20.0
36	Pantar	Mauta	-23.2
56	Adonara	Gonehama	-23.8
55	Adonara	Watololong	-26.5

Mexico

Prov	Island	Provname	Phat (%)
19	Flores	Kilawair	32.7
45	Flores	Koangao	32.5
48	Flores	Palueh	28.1
34	Lembata	Bunga_Muda	20.8
58	Adonara	Kawela	20.6
21	Timor	Lelobatan	-24.3
7	Timor	Naususu	-29.2
8	Timor	Mollo	-30.8
22	Timor	Leloboko	-32.6
23	Timor	A_esrael	-50.4



Volcán Boleng, Adonara – Indonesia, 1659 msnm.

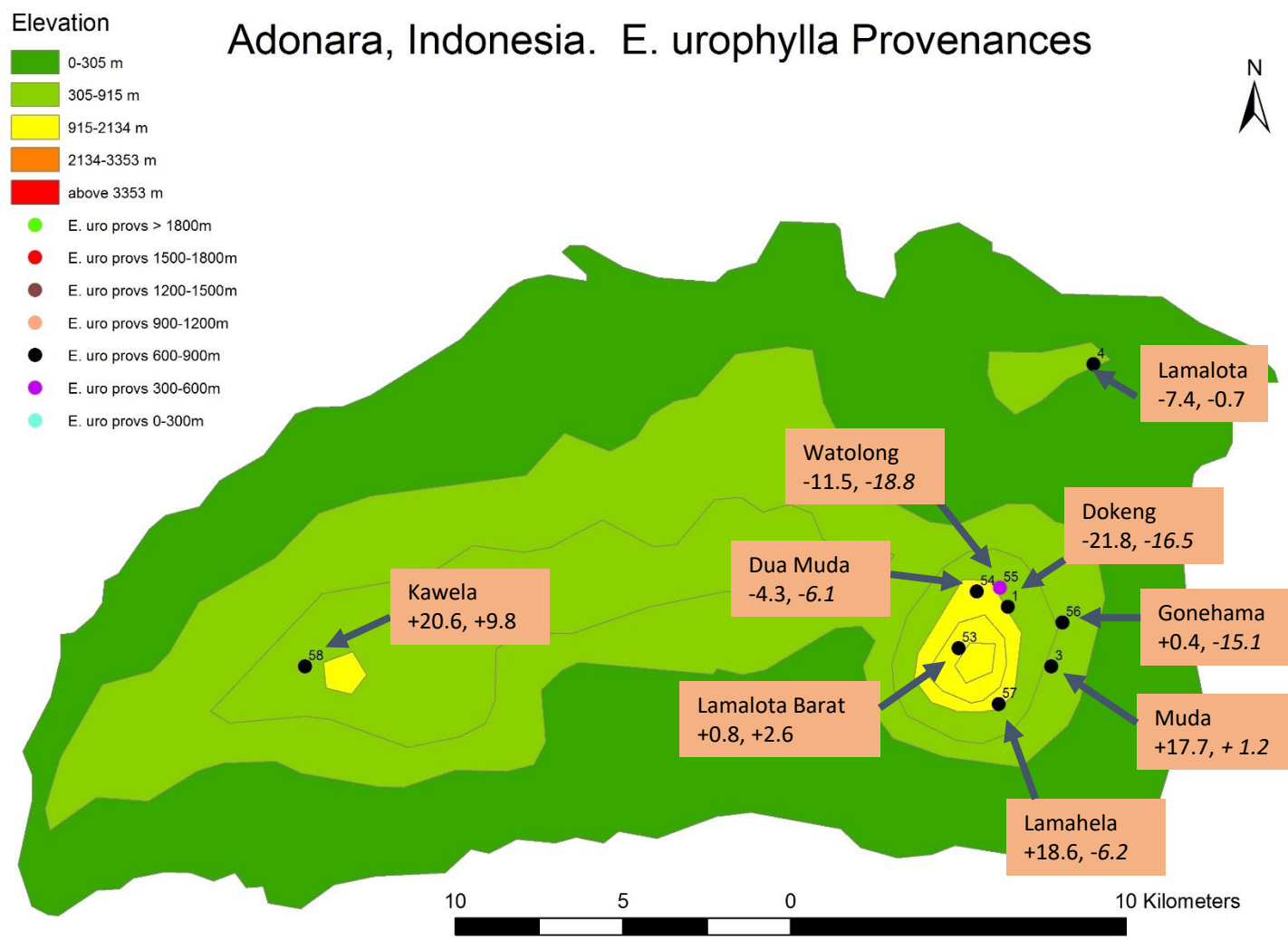


Dstrucción
de bosques
nativos por
erupciones
volcánicas

Rodales
naturales de
E. urophylla

Patterns of Prov. Variation

Provname
MEX, SAF



Efecto de Procedencias

Provenance Selection

- Typical range is $\pm 20\%$ from best to worst provenances of the same species.

P. maximinoi, Colombia

prov	dept	country	gain %
San Jerónimo	Chiapas	Mexico	8.4
La Cañada	Chiapas	Mexico	8.2
San Jerónimo	Baja Verapaz	Guatemala	6.6
El Portillo	Ocotepeque	Honduras	-9.4
Tapiquil	Yoro	Honduras	-10.0
Yuscarán	El Paraíso	Honduras	-10.0

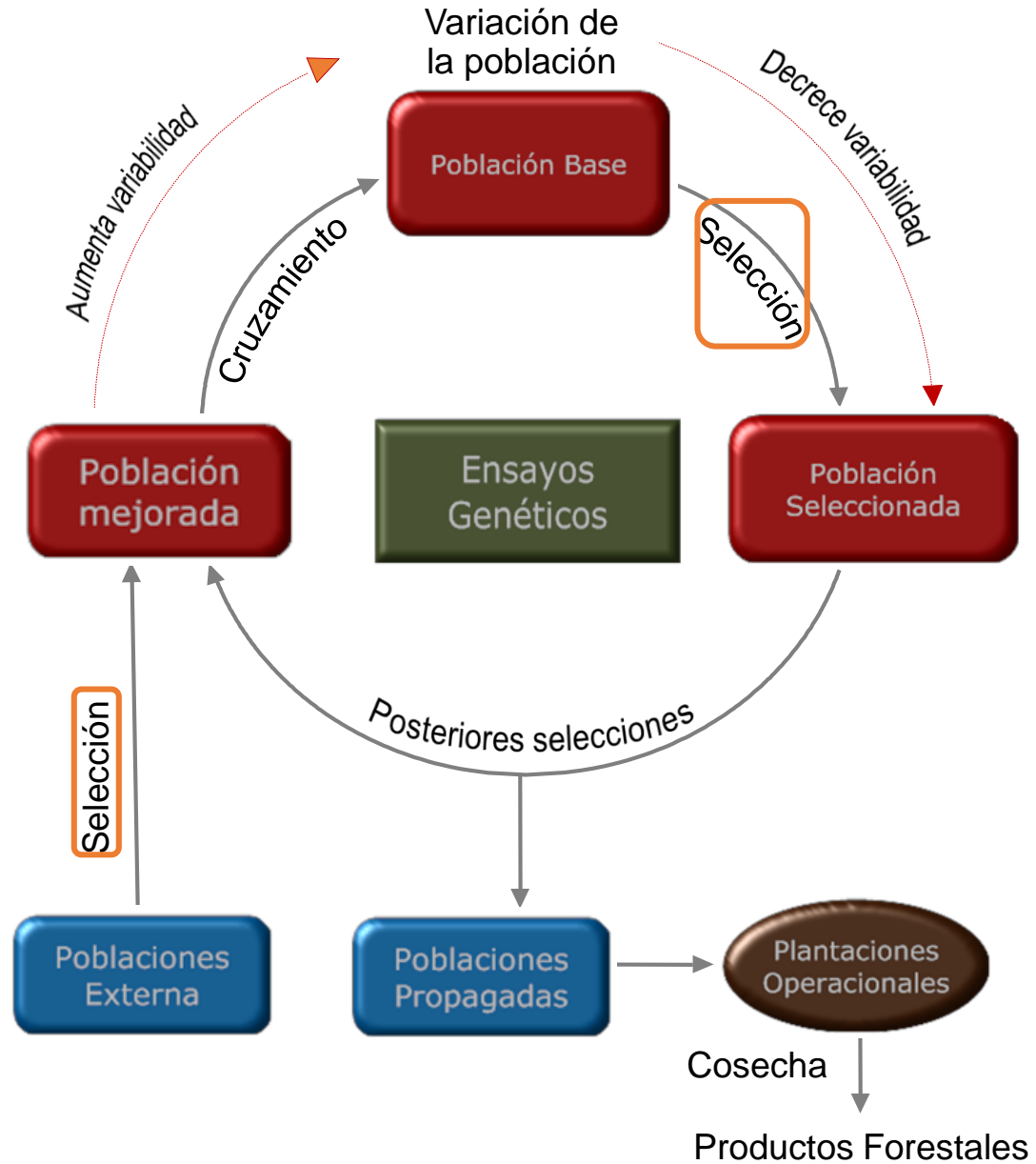


P. patula, South Africa

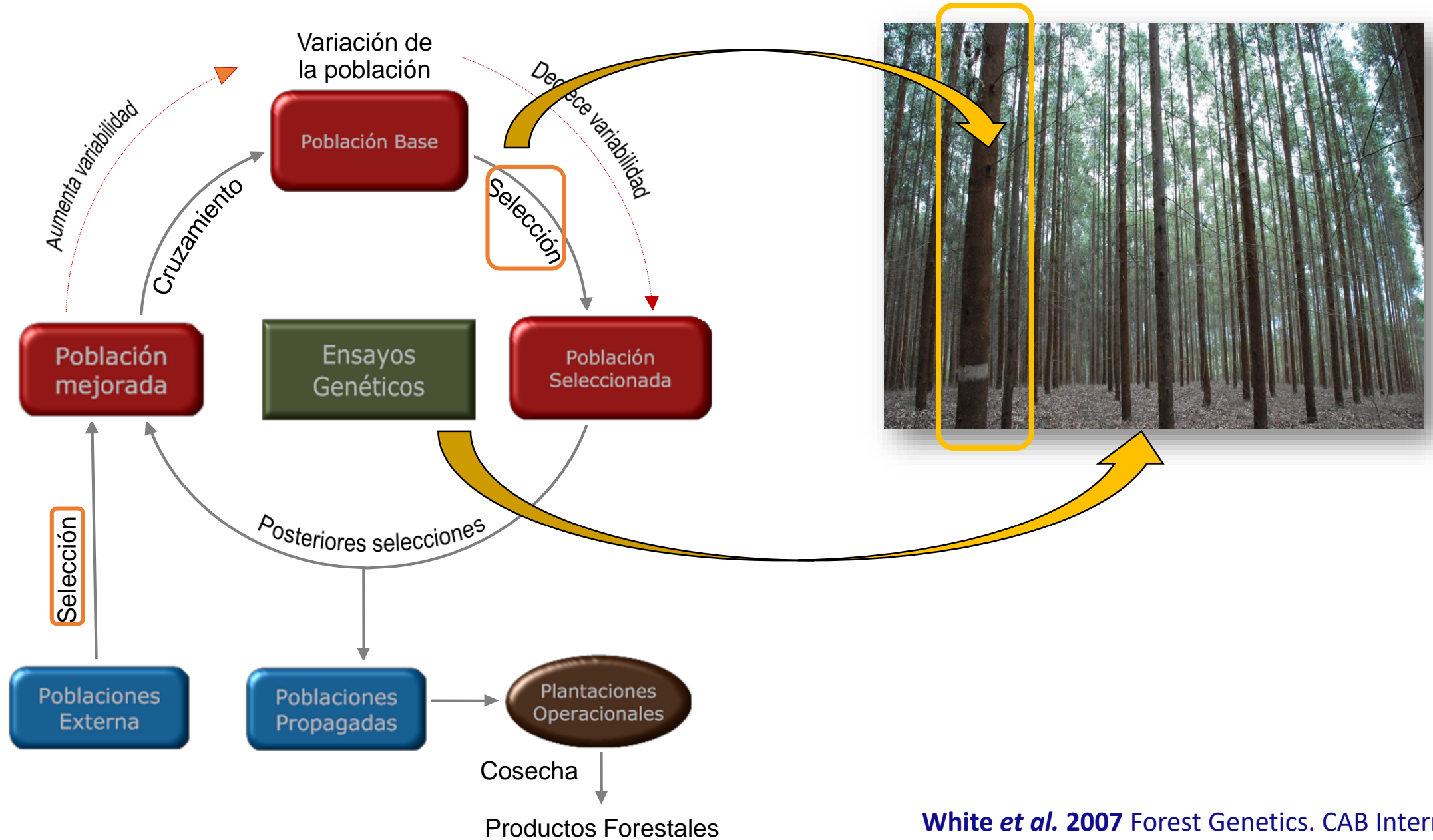
prov	dept	country	gain %
La Cruz	Hidalgo	Mexico	24.6
Cumbre Muridores	Hidalgo	Mexico	17.1
Acaxochitlán	Hidalgo	Mexico	15.9
Potrero Monroy	Veracruz	Mexico	-11.5
Tlacotla	Tlaxcala	Mexico	-23.4
Conrado Castillo	Tamaulipas	Mexico	-49.4



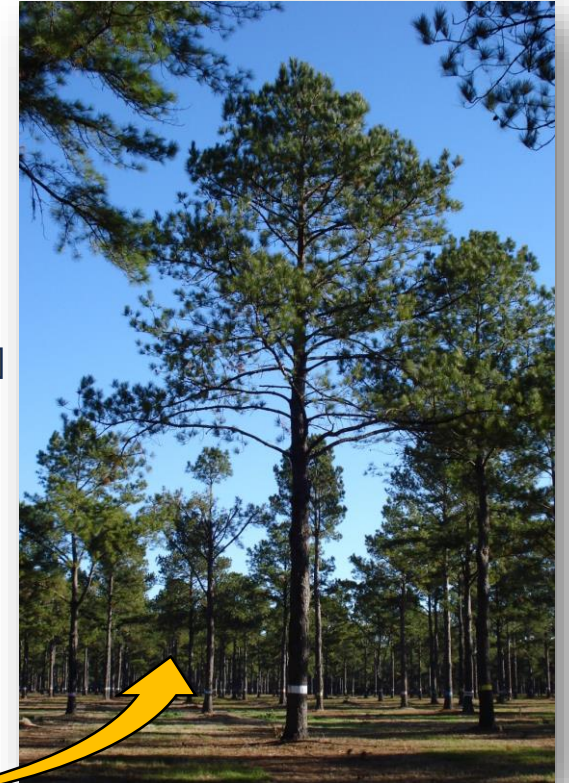
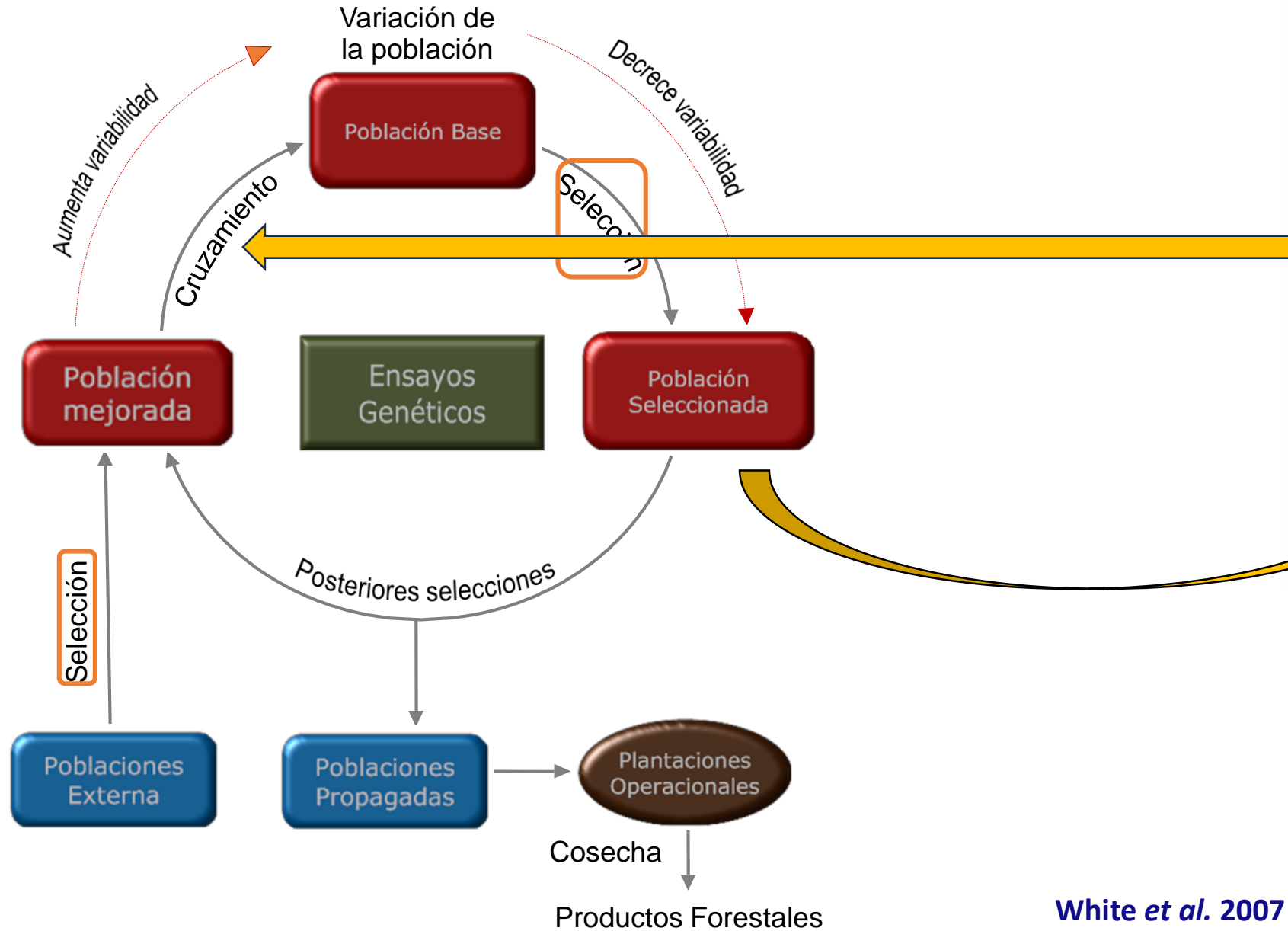
Ciclo de MGF



Ciclo de MGF



Ciclo de MGF

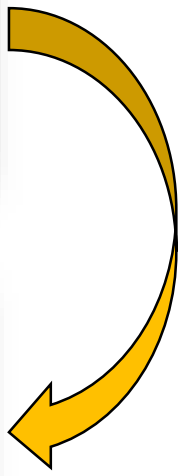
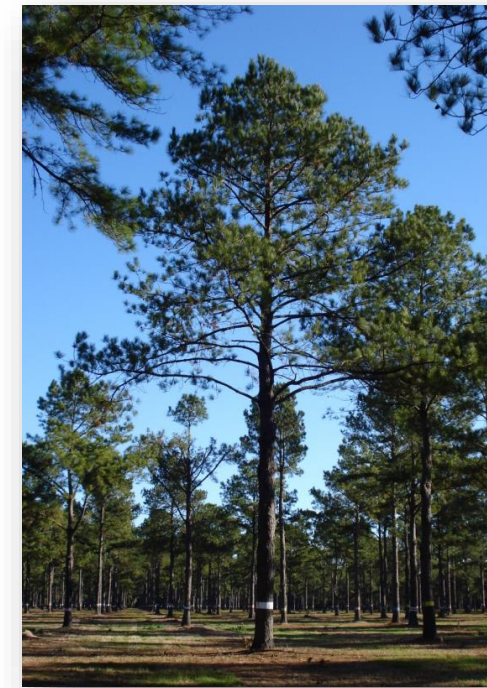
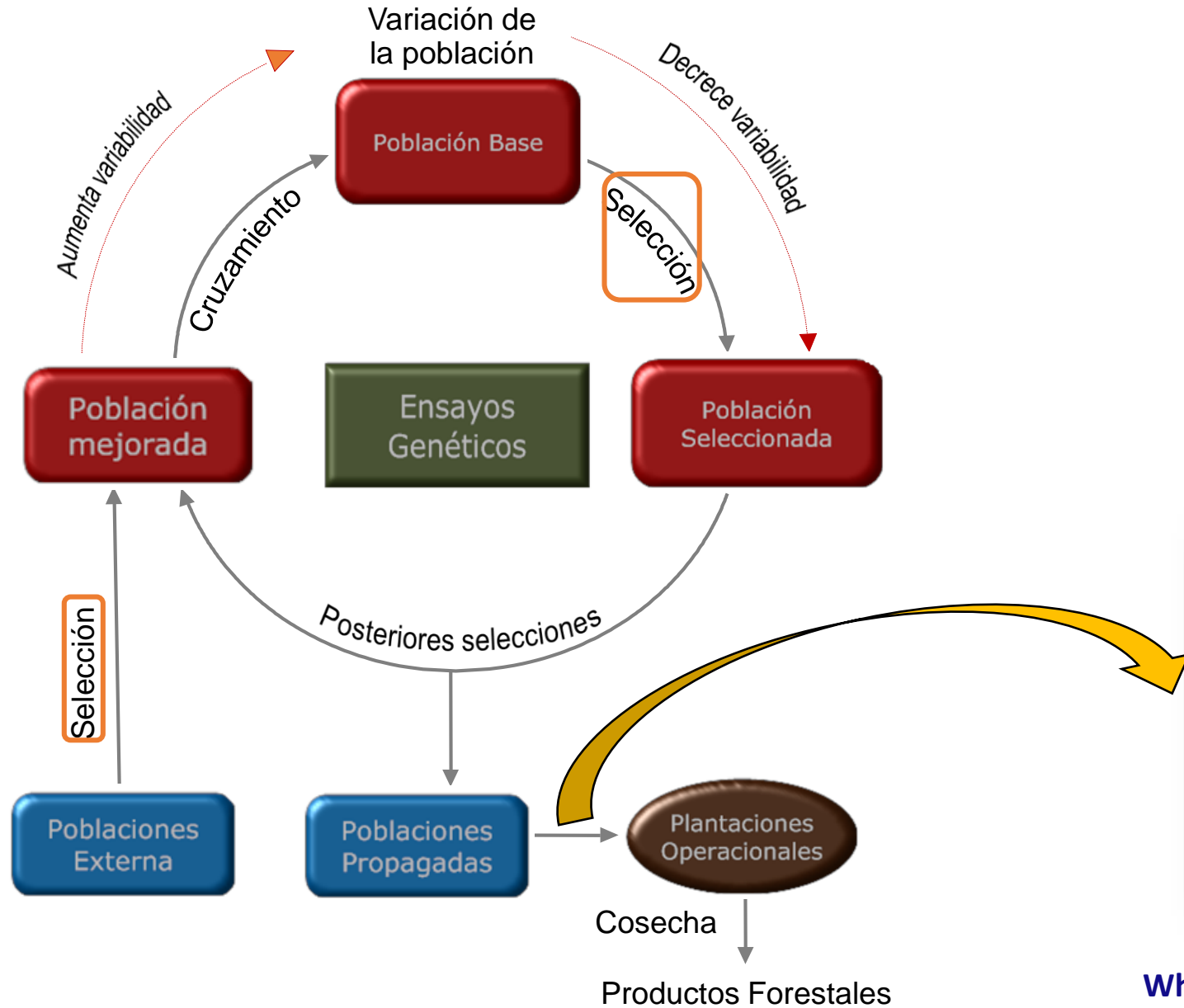


Poblaciones Propagadas

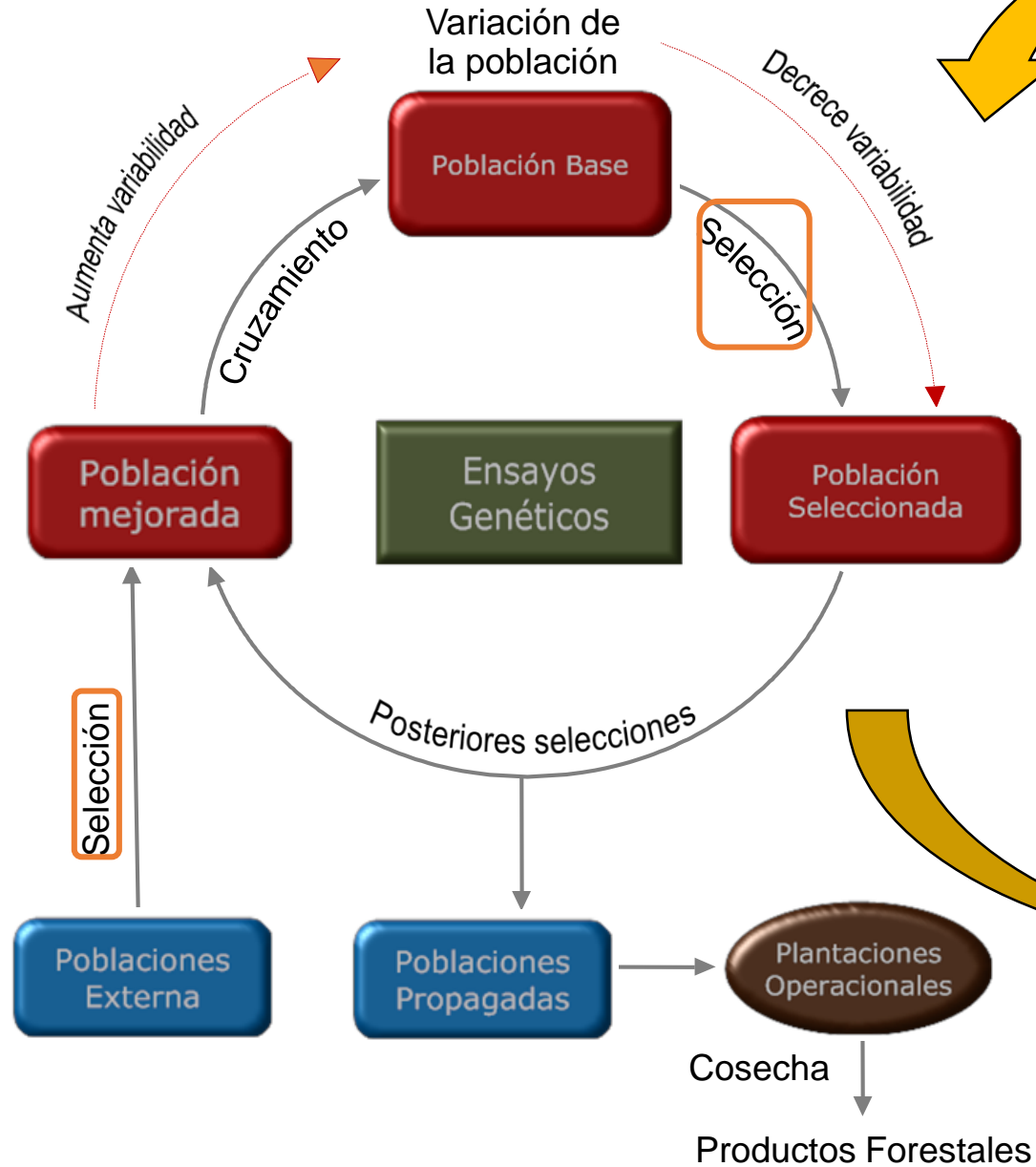
- Polinización abierta → hermanos medios
- Polinización controlada → Familias de hermanos completos
- Clones → propagación vegetativa en vivero



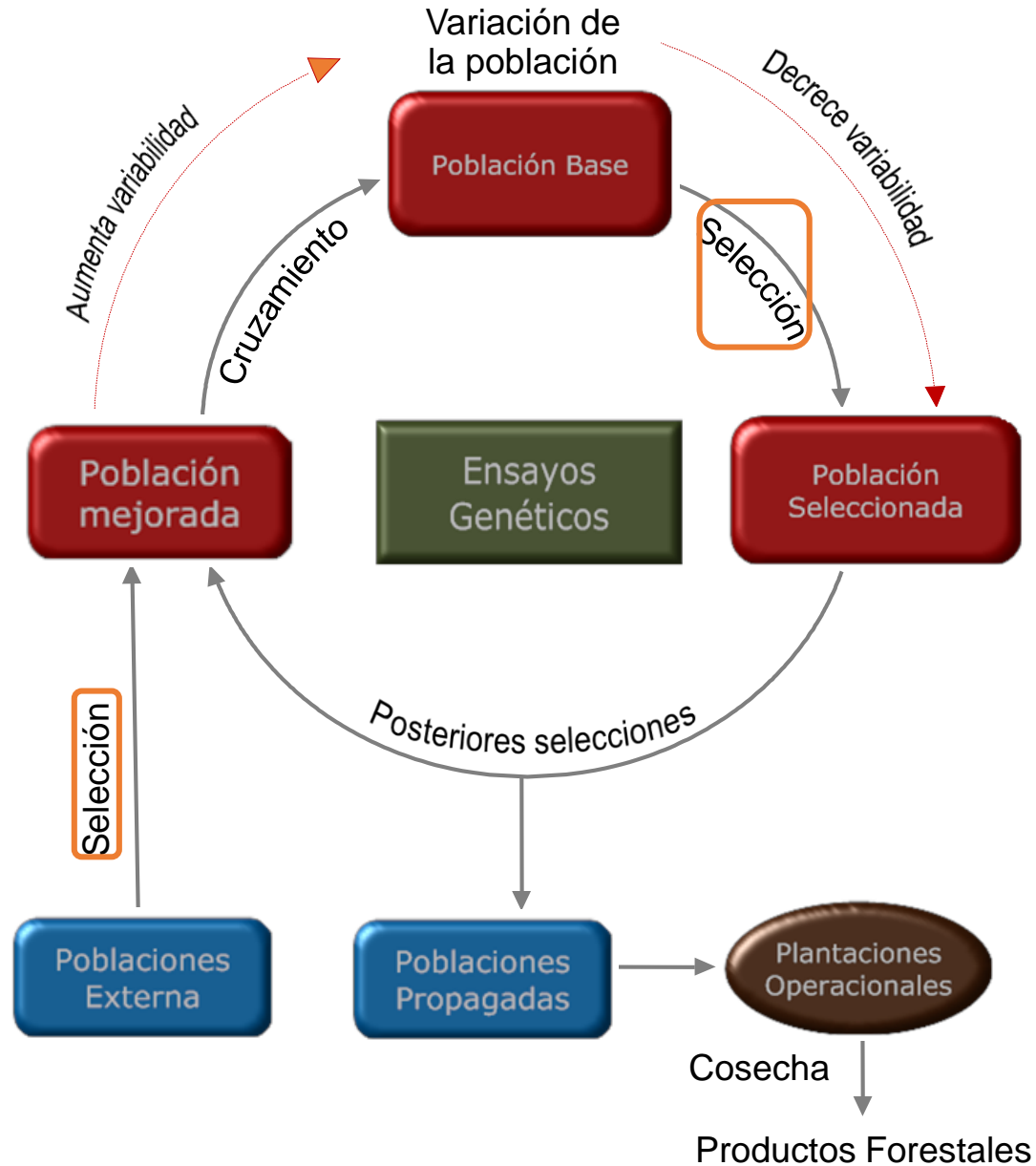
Ciclo de MGF



Ciclo de MGF



Ciclo de MGF

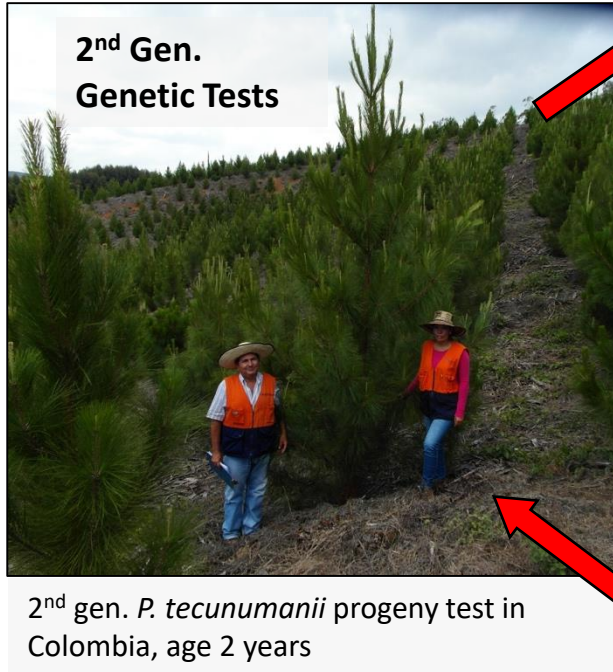


- Mejoramiento continuo
- Mediano – largo plazo
- Balance entre selección y diversidad genética (riesgo vs beneficio)
- Ganancias tienen valor **SOLO** cuando el material superior es **plantado operativamente**

Tree Improvement

Selection and Breeding

- Typical tree improvement activities with species that have commercial potential.



Tree Improvement

Selection and Breeding

- Typical tree improvement activities with species that have commercial potential.



Edad de selección:

- Eucs: 3-4 years
- Pinos: 5-8 years

2nd Gen.
Genetic Tests

Características de selección?

- Volumen (DAP & HT) y propiedades de madera.
- Forma (Ramas, rectitud) y sanidad.

Graft into Orchards

Breeding

2nd gen. *Pinus* orchard in
Colombia, age 2 years

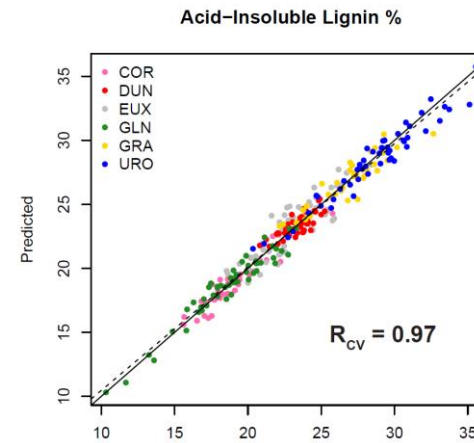
Propiedades de la madera:

- Espectroscopía de NIR



- Propiedades químicas

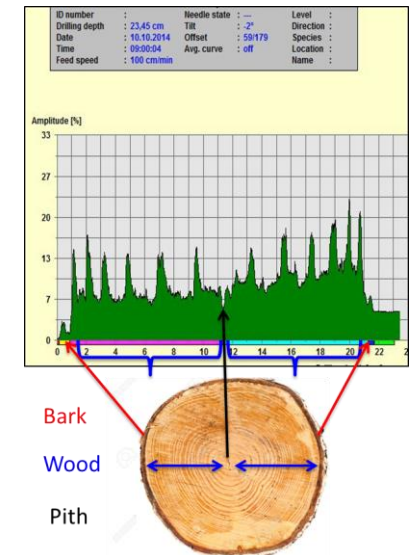
- Modelos global (especies y regiones)
- Pinos: Lignina, celulosa
- Eucaliptos: Lignina, SG ratio, glucosa, xylosa, azucares menores



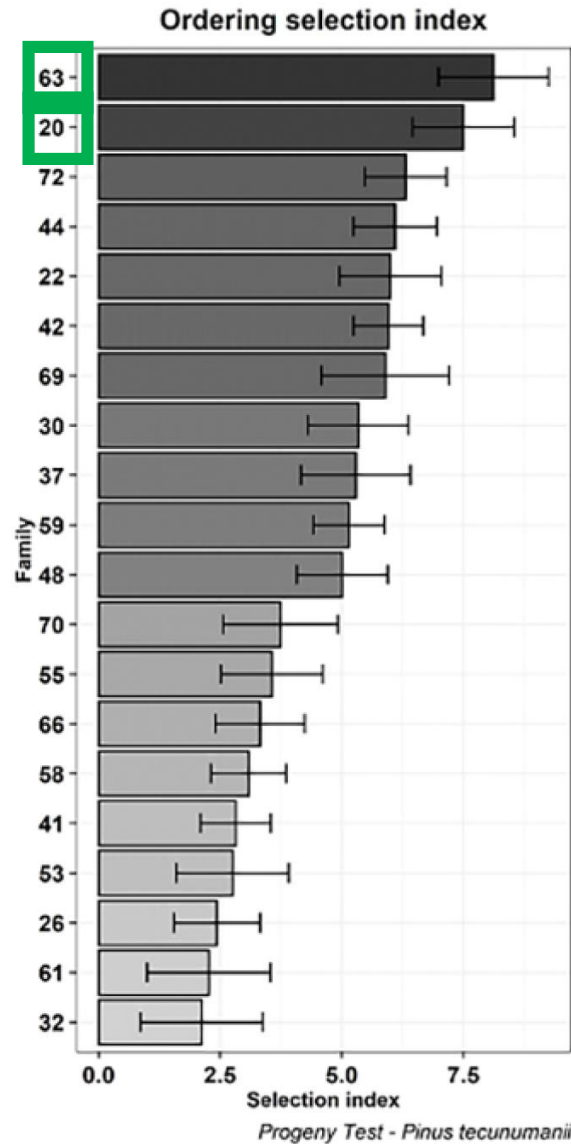
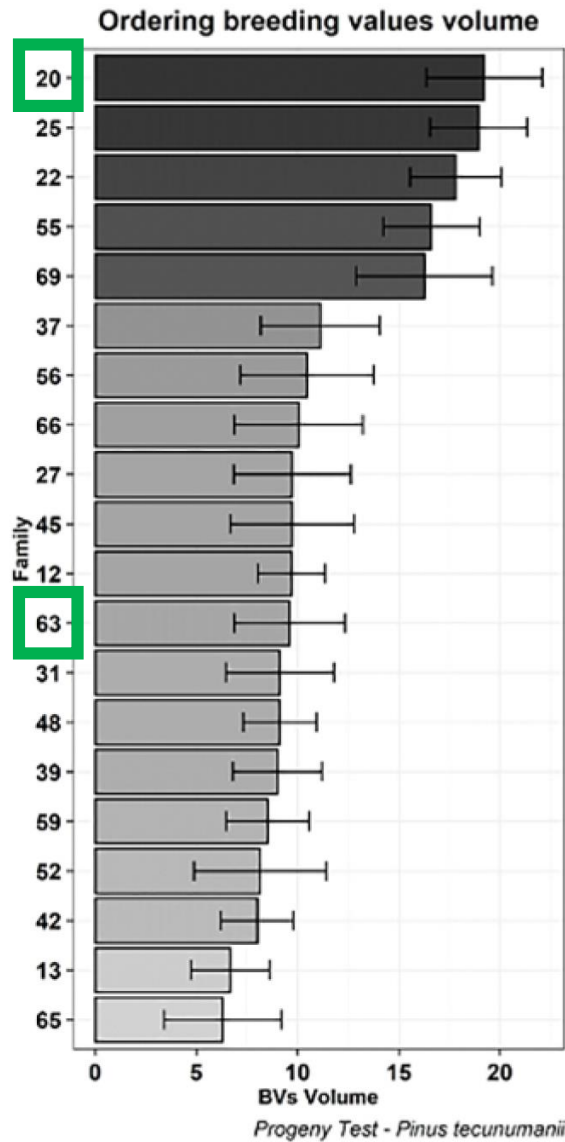
- Propiedades físicas:

- MFA
- MOE

- IML Resistograph para predecir densidad



Ganancia Familiar



$$SI = [(a_1 BV_{DBH}) + (a_2 BV_{HT}) + (a_3 BV_{SF}) + (a_4 BV_{BA}) + (a_5 BV_{WDR})]$$

Predicted genetic gains for growth traits and wood resistance in *Pinus maximinoi* and *Pinus tecunumanii*

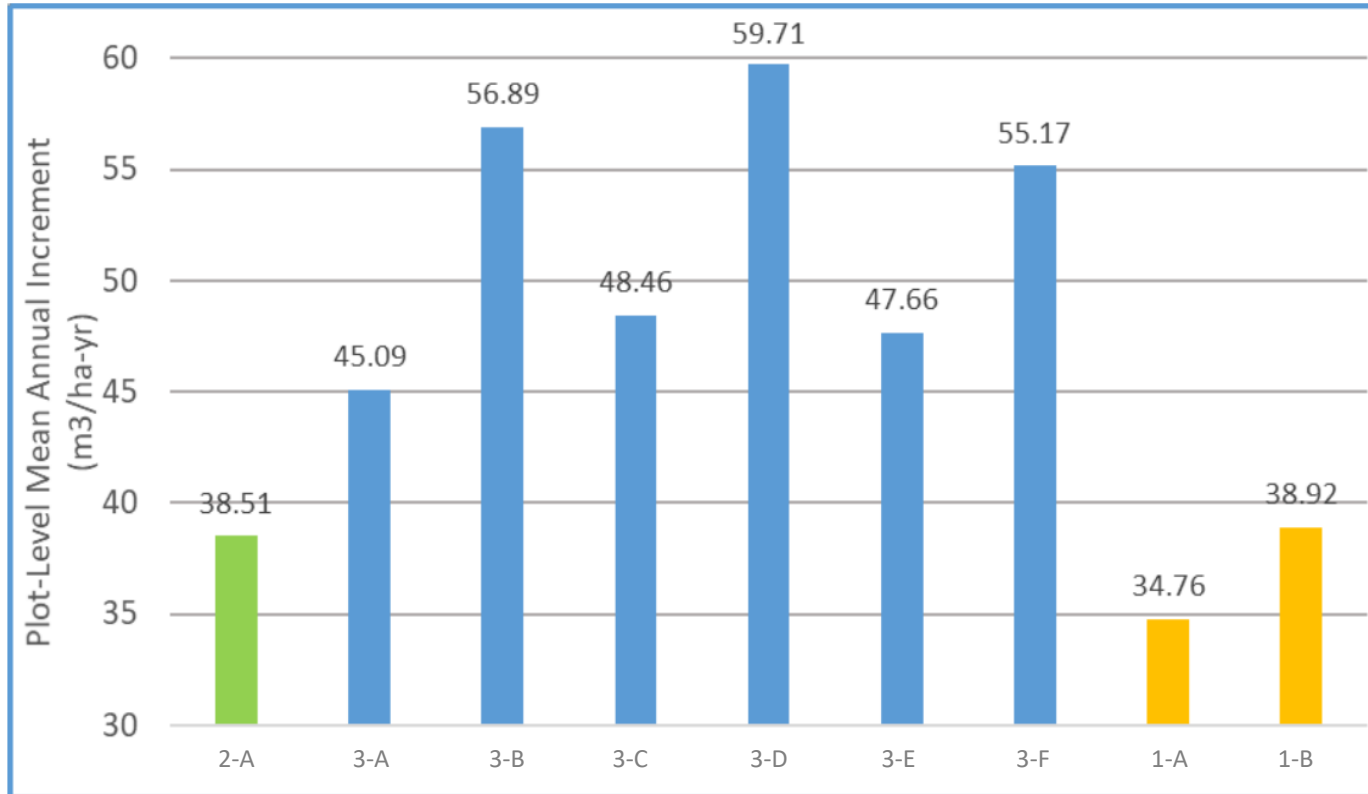
Matheus Perek¹, Gary Hodge², Evandro Vagner Tambarussi¹, Fabricio Antonio Biernaski³ and Juan Acosta^{2*}

Crop Breeding and Applied Biotechnology
22(2): e391022213, 2022
Brazilian Society of Plant Breeding.
Printed in Brazil
<http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332022v22n2a23>



Transferencia clonal a operaciones

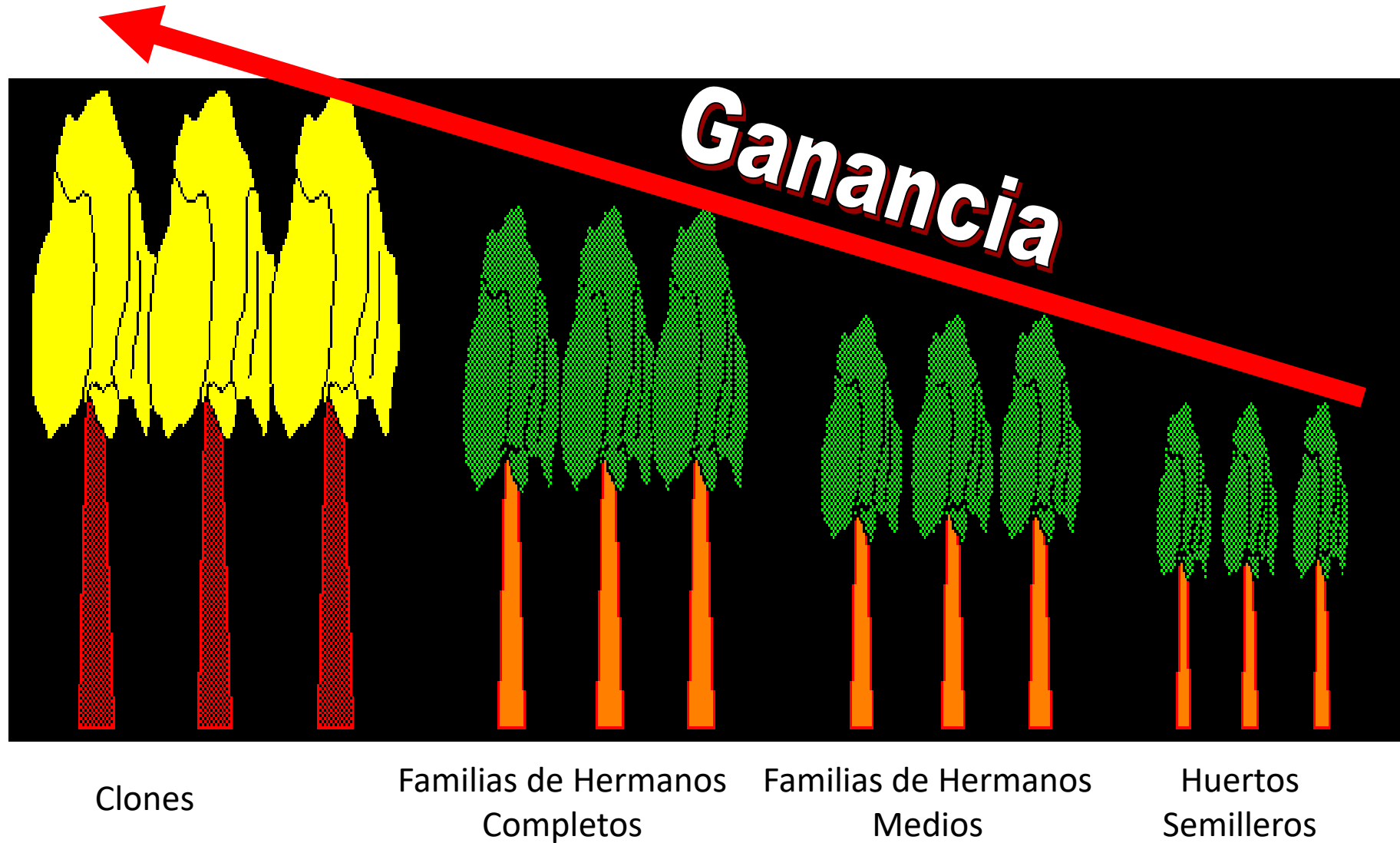
Results – Mean Annual Increment at 3 years. 1st generation clones in yellow, 2nd generation clones in green, and 3rd generation clones in blue. *Eucalyptus grandis* Realized Gains Tests.



Hasta un **67%** de ganancia respecto al promedio de la primera generación



Transferencia a operaciones → HUERTOS & VIVERO





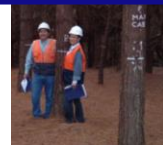
Tendencias globales

Camcore - NCSU

Formed by private industry in 1980

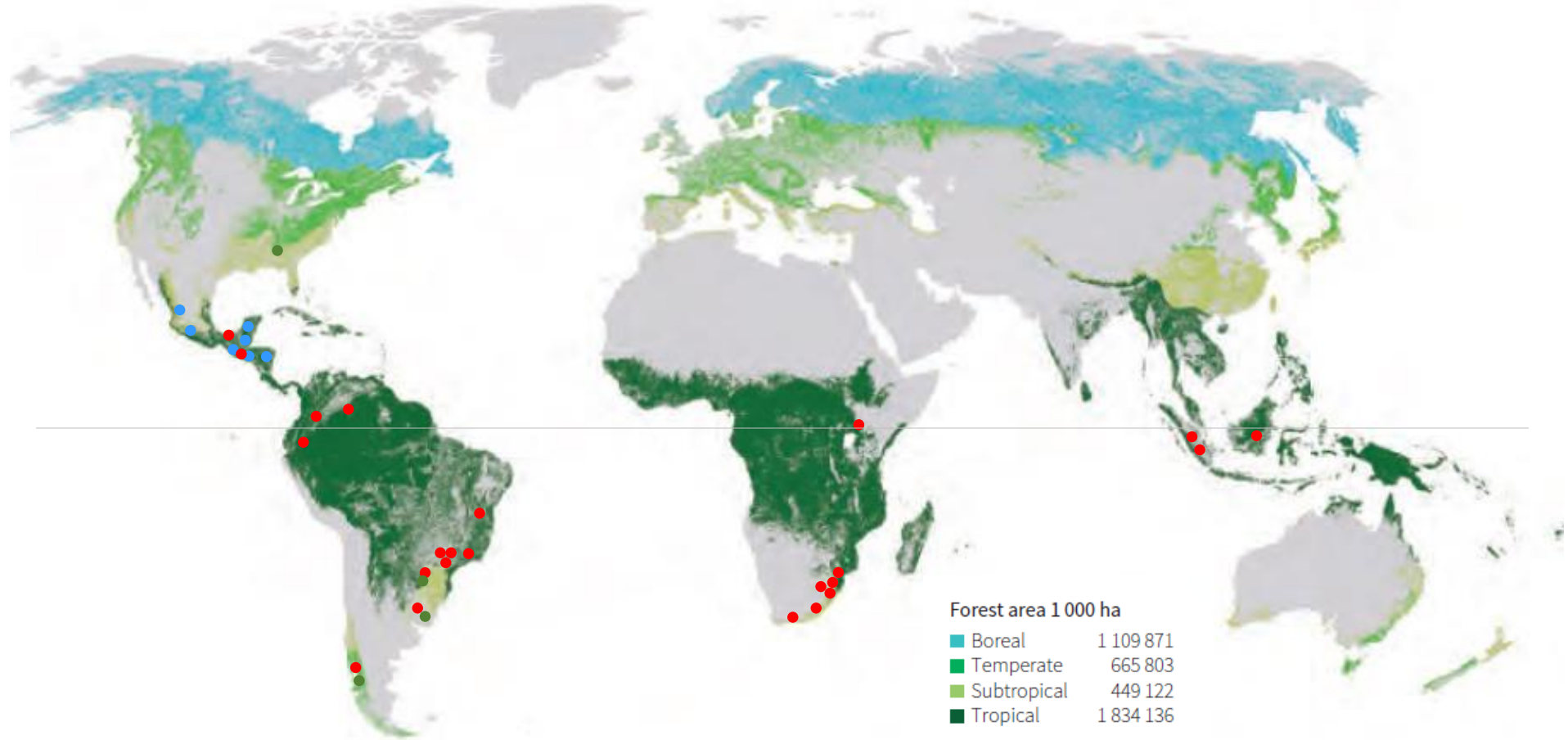
Gene Conservation and Tree Improvement

- to conserve and test forest species
- to increase productivity on tropical and sub-tropical forest land
- to work together, rather than separately



Camcore Membership 2023

FIGURE 5. The global distribution of forests, by climatic domain



Camcore

- Established 1980 with 4 members
- 23 Active ●, 4 Associate ●, 7 honorary ●



Camcore Membership 2023

America



Klabin



Africa



Asia



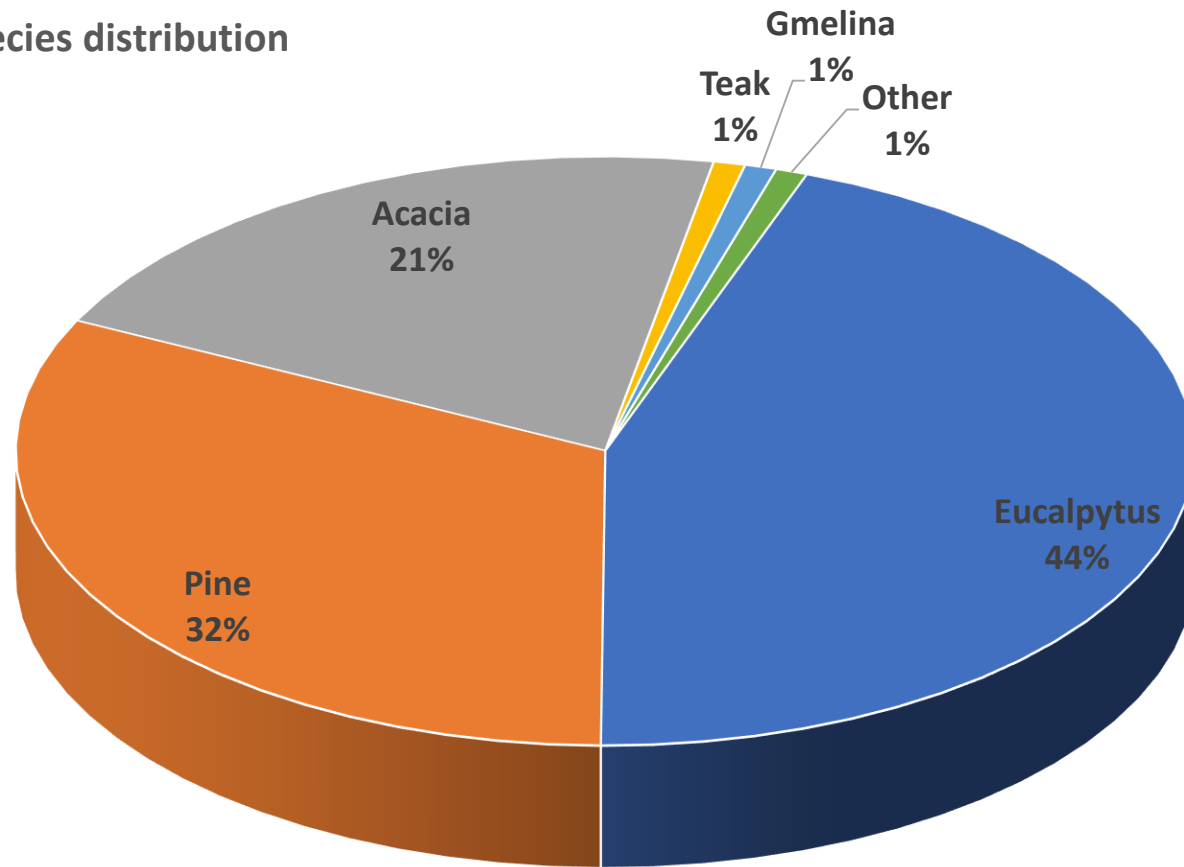
Membership Diversity

- Small (5,000 ha) to Very Large (1+ million ha)
- Greenfield to Fully Developed & Integrated Companies
- Strong Research Programs to Small & Inexperienced Teams
- Warm Tropical to Cool Temperate Climates
- Pulp & Paper to Plywood & MDF to Sawtimber

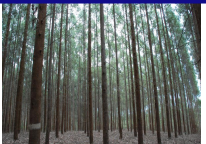


Camcore Members – Plantation Overview

Species distribution



- Members own/manage over 6 million hectares of plantations.
- Establish more than 650,000 ha of plantation each year.
- 90% plant eucalypts, 64% plant pines, 55% plant both



Nuevas especies comerciales

P. taeda

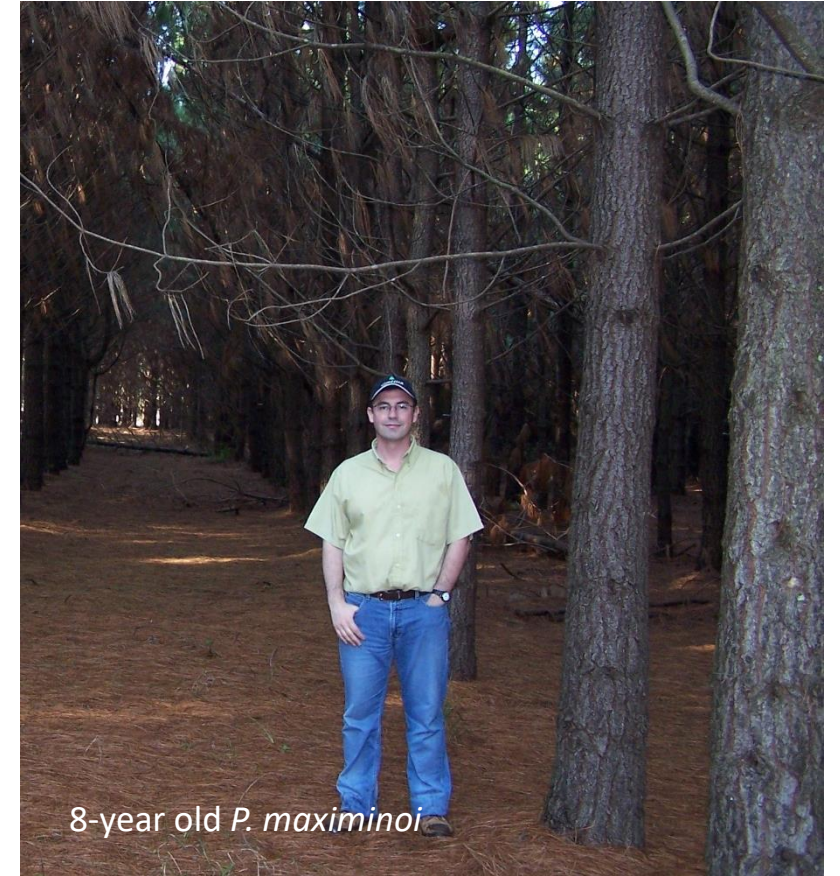
- Commercially grown in southern Brazil and northern Argentina for 50+ years
- Improved varieties
- MAI = 35 to 45 m³/ha/year



15-year old *P. taeda*

P. maximinoi

- Unimproved sources
- 50 to 60% more volume than *P. taeda* at age 8



8-year old *P. maximinoi*



Nuevas especies comerciales



- *E. dorrigoensis*

- Cold tolerant species
- Potential in Argentina, Brazil, Uruguay, South Africa

3.5-year old Camcore *E. dorrigoensis*,
Lumin, Uruguay

Mejoramiento genético de híbridos

- ***No es tarea fácil!***
 - Barreras biológicas de cruzamientos
 - Logística: 2 especies
 - Producción masal operative muy complicada:
 - Propagación vegetativa
 - Polinización controlada masal
 - Huertos (F2) de polinización abierta
- ***Por qué trabajar con híbridos?***



Cones of jeffrey pine, coulter pine, the hybrid, and the backcross to jeffrey pine.

Mejoramiento genético de híbridos

Especies diferentes tienen beneficios:

- Adaptabilidad, crecimiento
- Tolerancia a enfermedades
- Enraizamiento
- Calidad de madera

Mejoradores buscarán incorporar las mejores características de varias especies en un “solo paquete”.

E. globulus

Excellent pulp quality
Cool temperate species
Does not root

E. camaldulensis

Drought tolerant
High density wood
Slower growth.

E. nitens

Very fast growth!
Good frost resistance
Does not root
Tiny flowers

E. pellita

Good growth
Good rooting
High density
Disease resistance
Little frost resistance

E. grandis

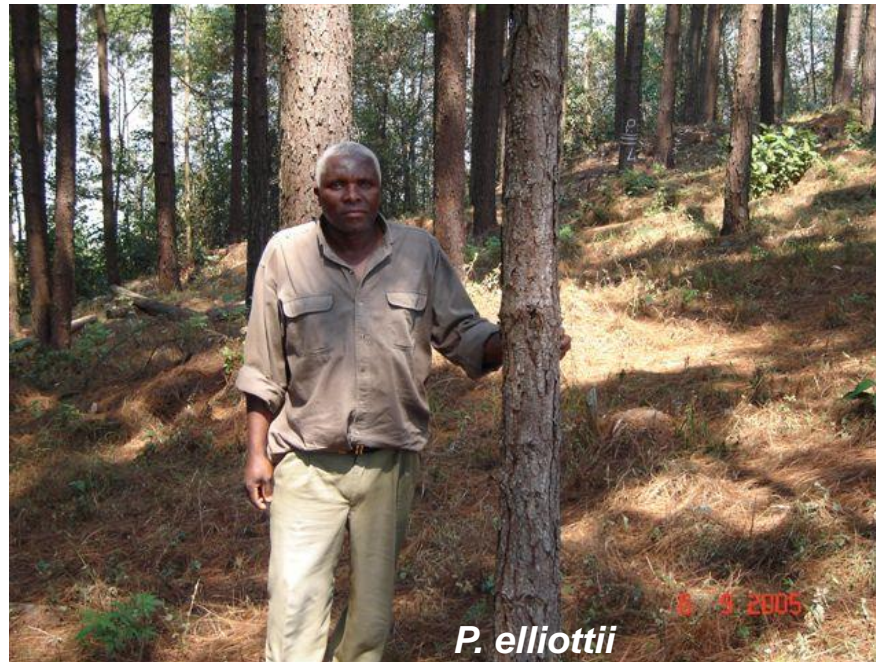
Good growth
Good rooting
Disease susceptible
Little frost resistance
Low wood density



Mejoramiento genético de híbridos

Frecuentemente híbridos **exhiben heterosis** en características de crecimiento.

- Complementariedad



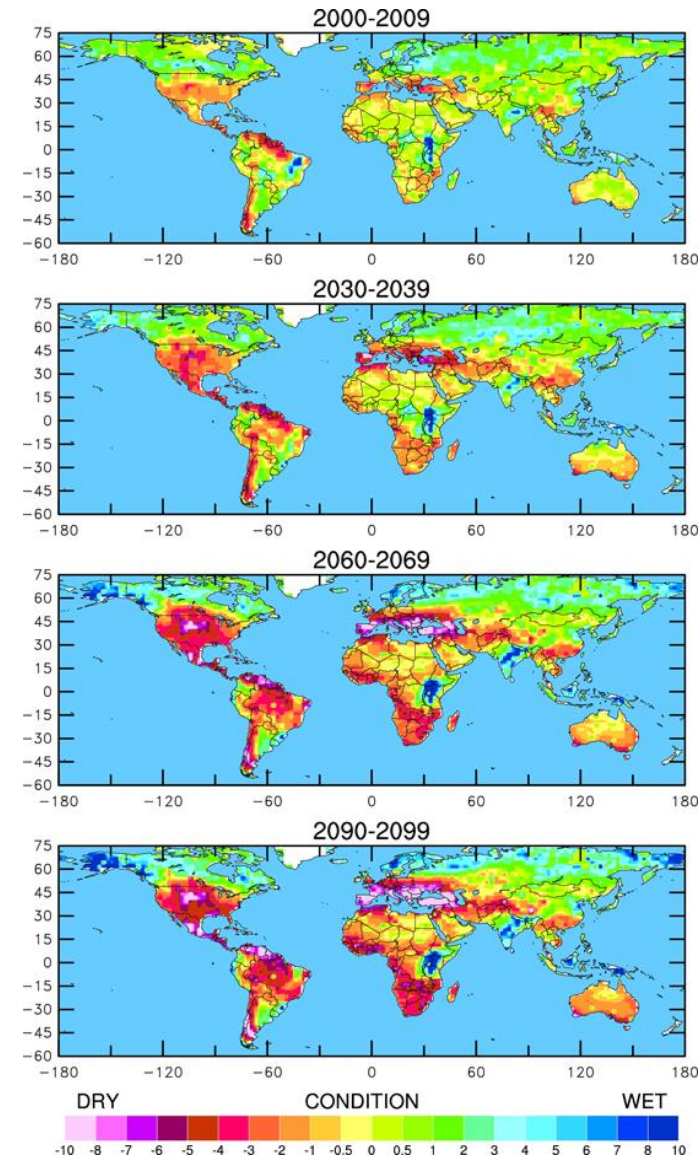
John Meikle Forest Research Station, Zimbabwe



Mejoramiento genético de híbridos

- El **cambio climático** puede hacer que las especies actuales sean **subóptimas**
- Los híbridos serán una forma de modificar la **adaptabilidad** pero manteniendo las **ganancias genéticas**.
- **Adicionan:** tolerancia a la sequía, tolerancia a las heladas o mejor crecimiento para temperaturas más cálidas.

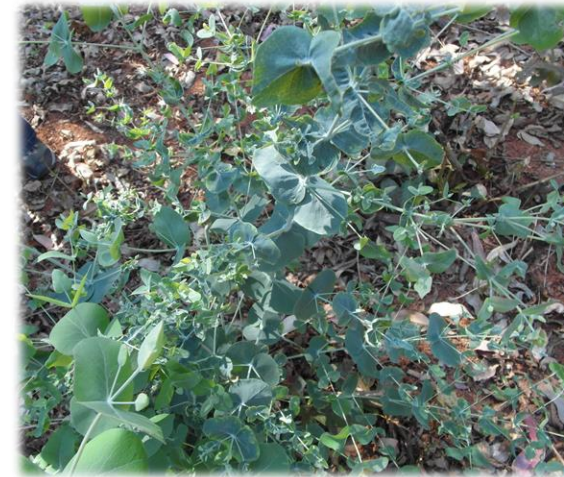
- Temperaturas de verano más cálidas
- **Mayor variación de año a año en temperatura y precipitación.**
 - Concentración de Sequías - Heladas



Mejoramiento genético de híbridos

Nuevas enfermedades pueden hacer que las especies actuales sean subóptimas:

- *Fusarium circinatum* (pitch canker on pines)
- *Dothistroma* (needle blight of pines)
- *Phytophthora pinifolia* (pine leaf damage)
- *Coniothyrium* (stem canker on eucs)
- *Puccinia psidii* (eucalyptus rust)
- *Leptocybe invasa* (gall wasp on eucs)



Malformation of *E. grandis* shoots and leaves caused by *Leptocybe invasa*.



Coniothyrium stem canker

Los híbridos pueden ser una forma de agregar resistencia, pero mantener las ganancias genéticas.

P. patula x P. tecunumanii

Bonus! Better Growth!

- Tree DBH = +8%
- Tree Height = +12%
- Tree Volume = +34%
- Plot Volume = +75%

5-year Plantation Survival

- Pat x Tec = 90%
- Patula = 69%

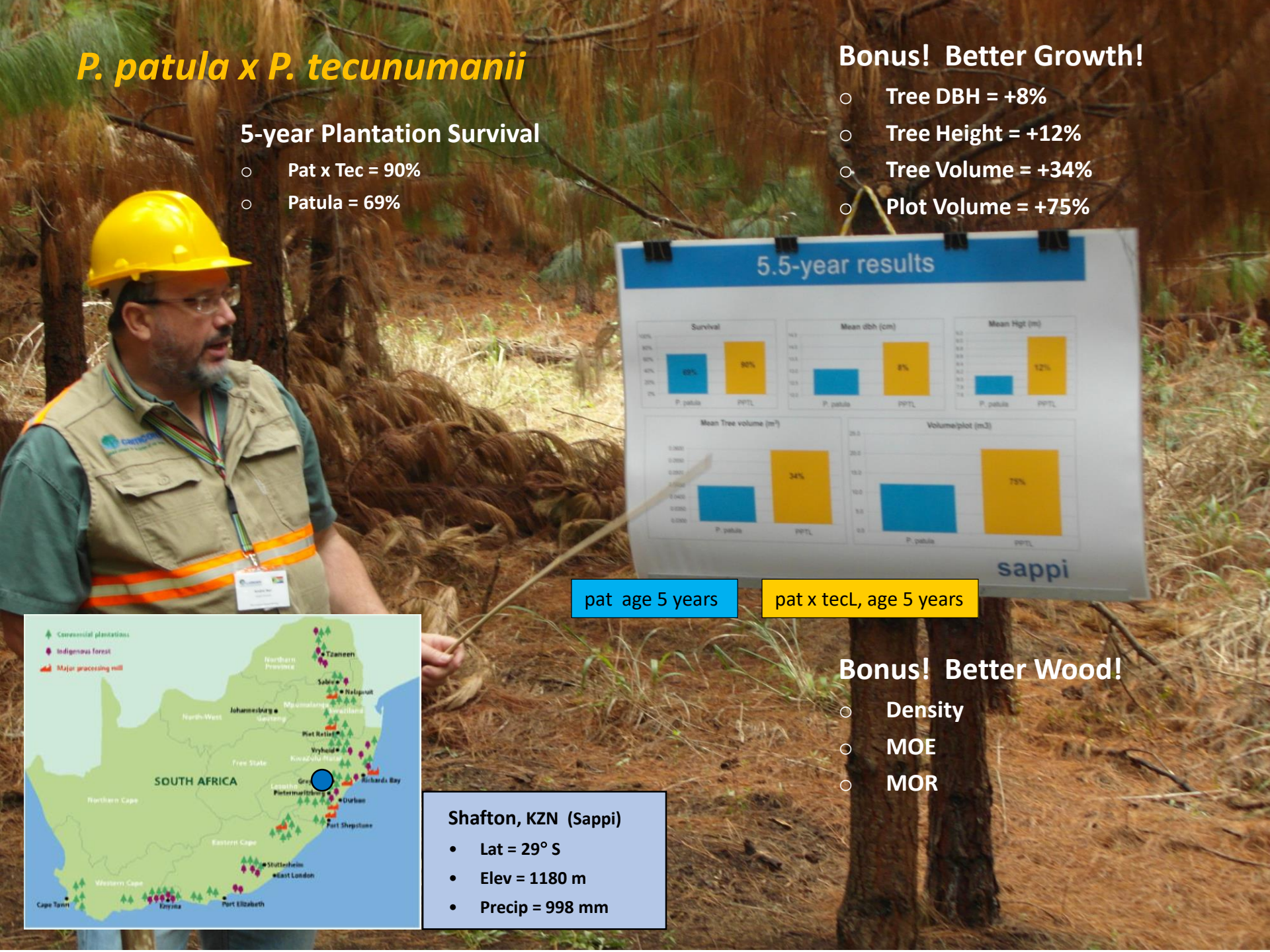


pat age 5 years

pat x tecL, age 5 years

Bonus! Better Wood!

- Density
- MOE
- MOR

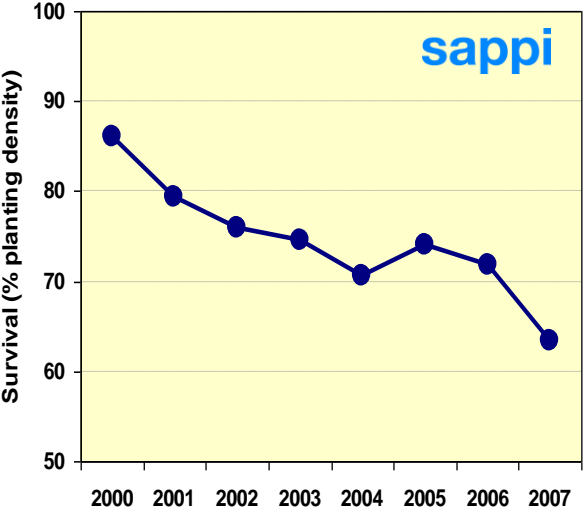


Shafton, KZN (Sappi)

- Lat = 29° S
- Elev = 1180 m
- Precip = 998 mm

Ca. 2000, decline in survival of *P. patula* plantations in South Africa

- Pitch canker infection in nursery being carried out into the plantations



Source: Sappi Forests operational gain measurements (2009)

Camcore Pine Hybrid Trials



3-year old SAFCOL



3-year old PG Bison



4-year old Klabin



5-year old WestRock



3-year old Sappi



2-year old York



4-year old SKC



5-year old Arauco Argentina

	Series 1	Series 2	Series 3	Total
Latin America	20	6	8	34
Africa	24	18	14	56
Total	44	24	22	90

Camcore Pine Hybrid Breeding

Bulk Hybrid Testing (2000 to 2015)

- 23 different pine hybrids
- Verified with molecular markers
- 66 field tests, measured through 8 years

- In almost all environments, there is a hybrid that equals or exceeds the current commercial species at age 8 years.

patula x *pringlei*
patula x *greggii* S
patula x *greggii* N
patula x *tecunumanii* HE
patula x *tecunumanii* LE
patula x *oocarpa*
patula x *elliottii*

greggii S x *tecunumanii* HE
greggii S x *maximinoi*
greggii N x *maximinoi*

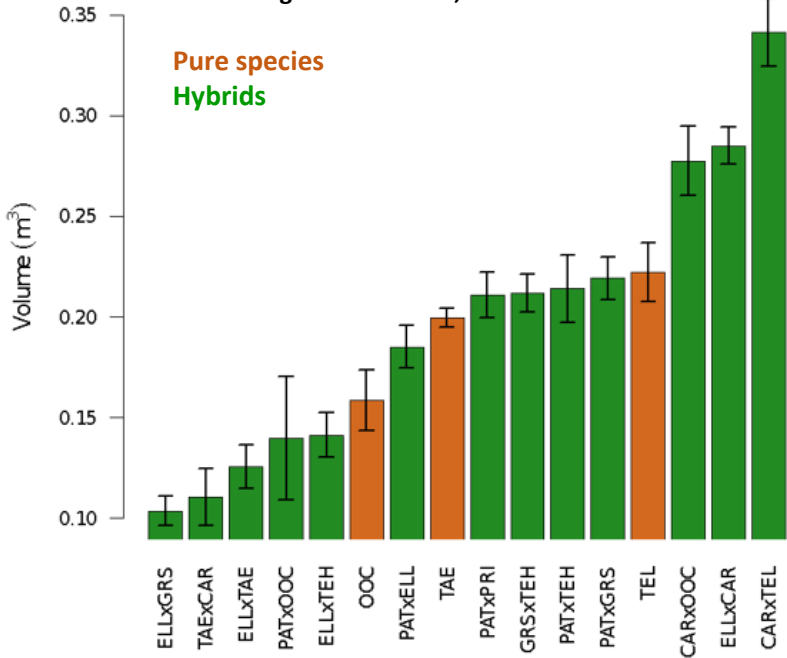
taeda x *caribaea*
taeda x *maximinoi*
taeda x *oocarpa*

radiata x *pringlei*
radiata x *maximinoi*
radiata x *patula*

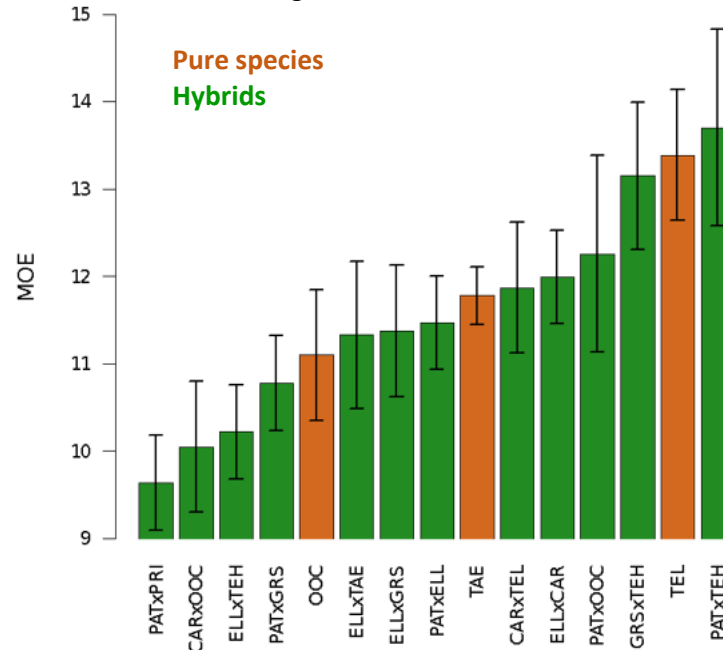
caribaea x *tecunumanii* LE
caribaea x *oocarpa*
tecunumanii HE x *oocarpa*

elliottii x *taeda*
elliottii x *greggii* S
elliottii x *tecunumanii* HE
elliottii x *caribaea*

Argentina & Brazil, Volume 8



Argentina & Brazil, MOE



Optimización del ciclo de MGF

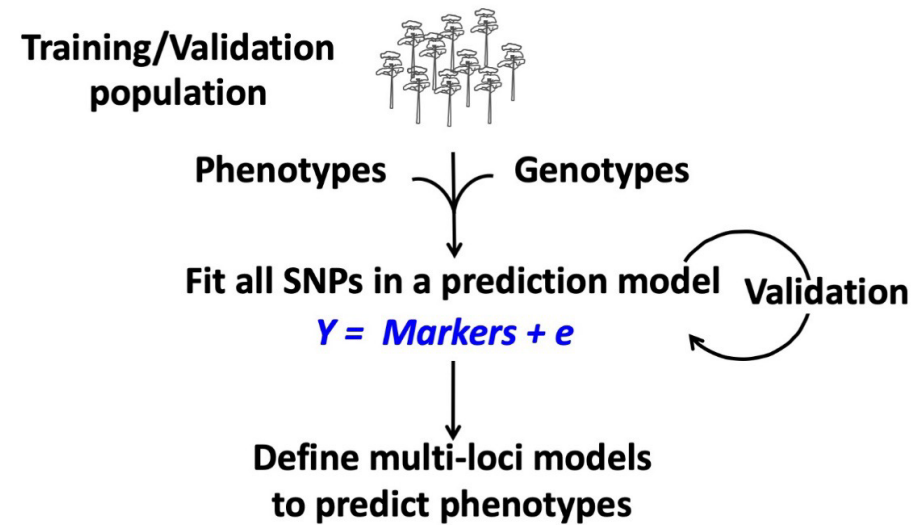


- **Genomic Selection Projects**

- Klabin *P. taeda* & *P. maximinoi*
- WestRock *P. taeda*
- Sappi *E. grandis* x *E. nitens*



Genome-wide selection models



Meuwissen et al. (2001) Genetics 157: 1819-1829

Retos

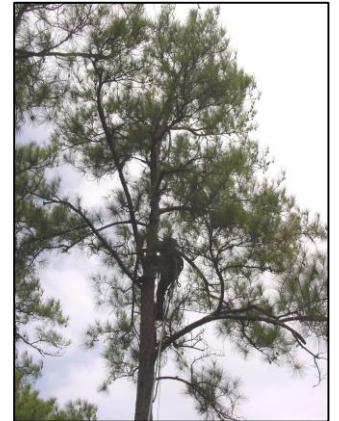
- Capacitación, entrenamiento:
 - Mano de obra
 - Universidad
 - Industria
 - Interacción: Universidad x Industria

Montañas de Xicotepec de Juárez. Mexico



Retos

- Perdida de recursos genéticos



El Limón, Honduras is the best provenance of *P. caribaea* collected by Camcore

- +23% volume gain
- Originally collected in 1983.



1998: El Limón forest being burned for conversion to agriculture.



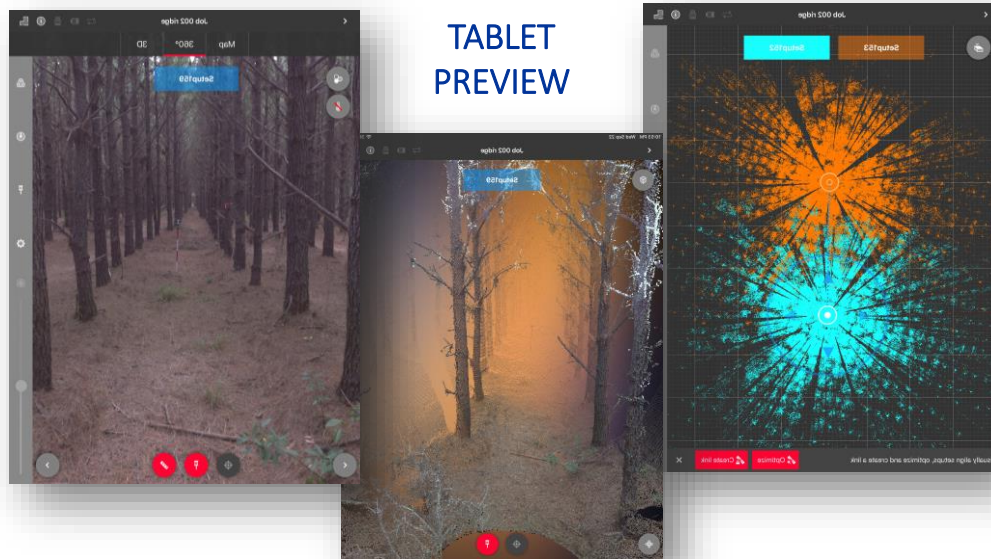
2002: El Limón – grasslands, maize, remnant trees

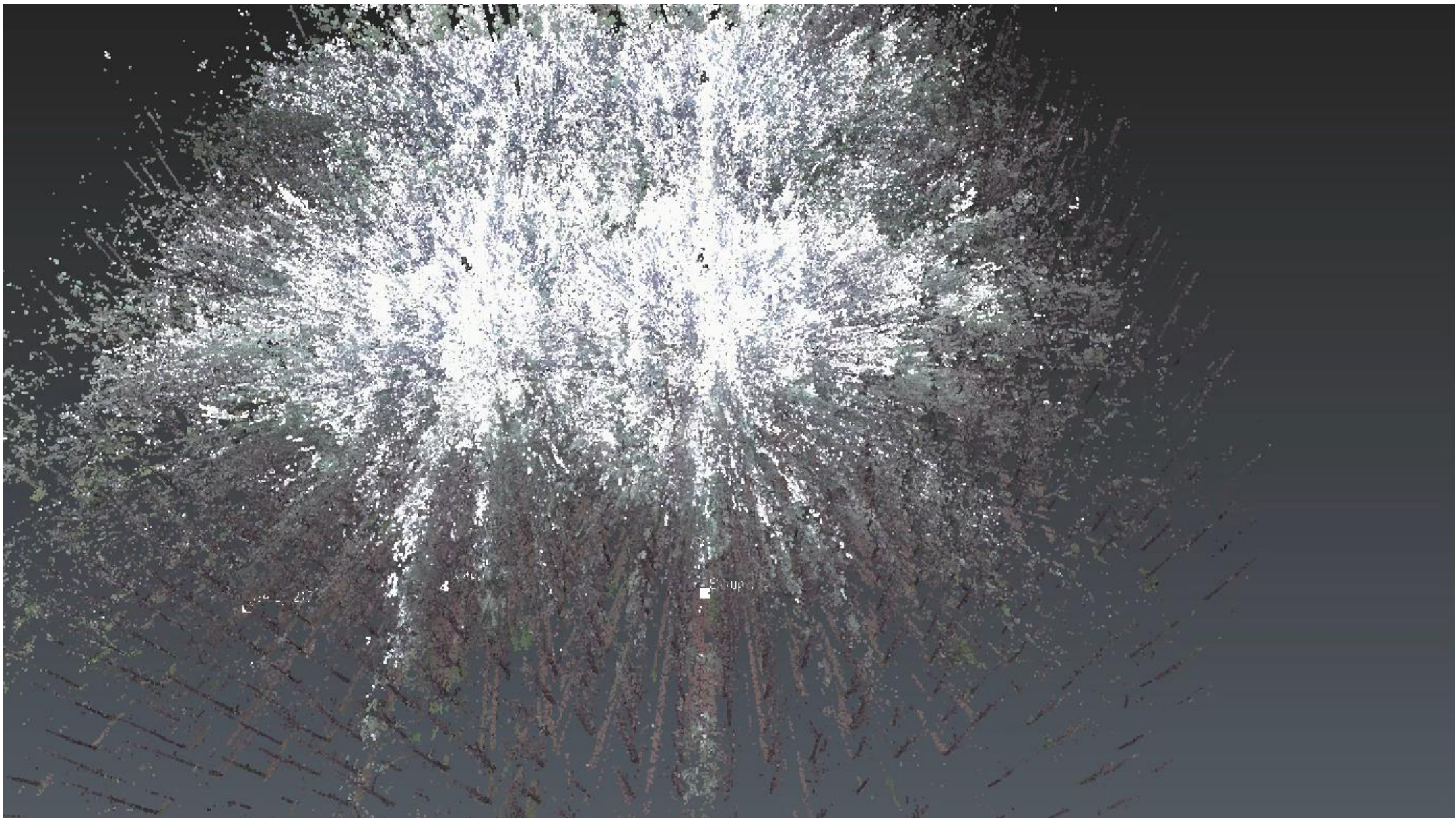


Retos → Nuevas tecnologías (Phenotyping)

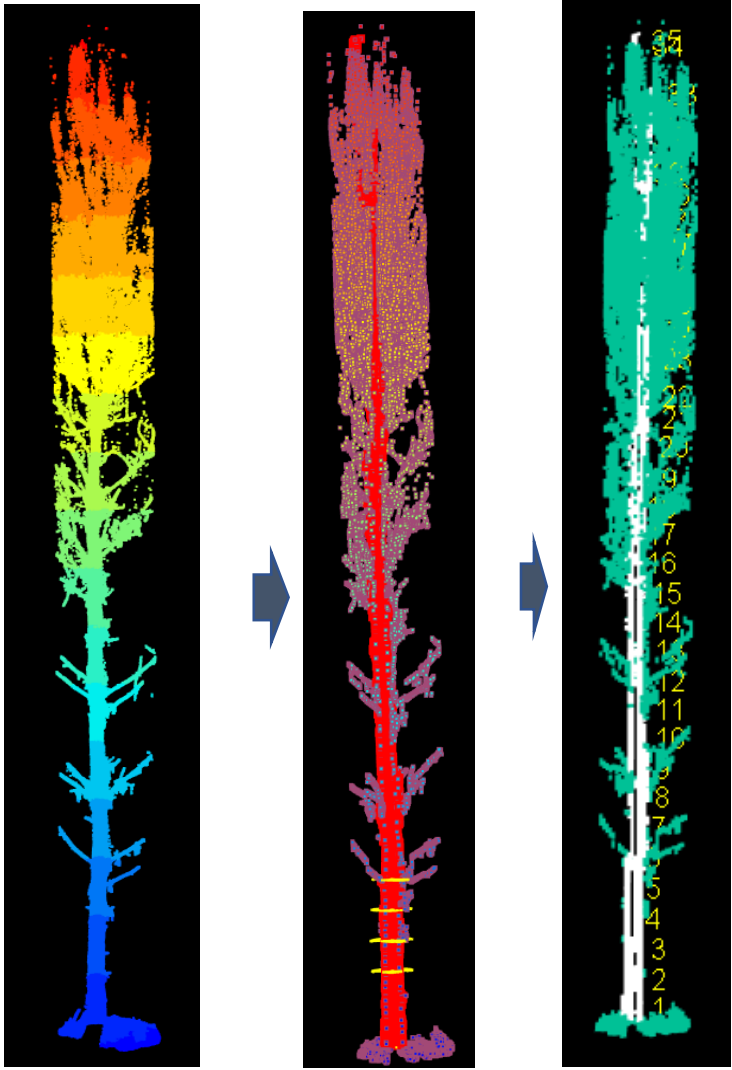
Terrestrial Lidar

- Very powerful, very accurate
- Moderately expensive
- PhD student Travis Howell





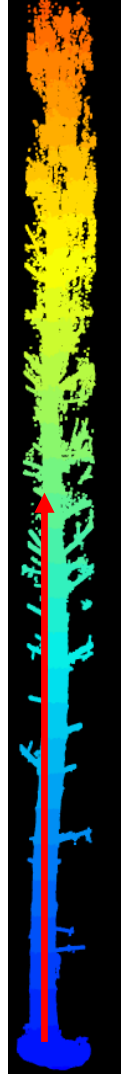
New Technologies: *Genetic Test Evaluation from Lidar Cloud Data*



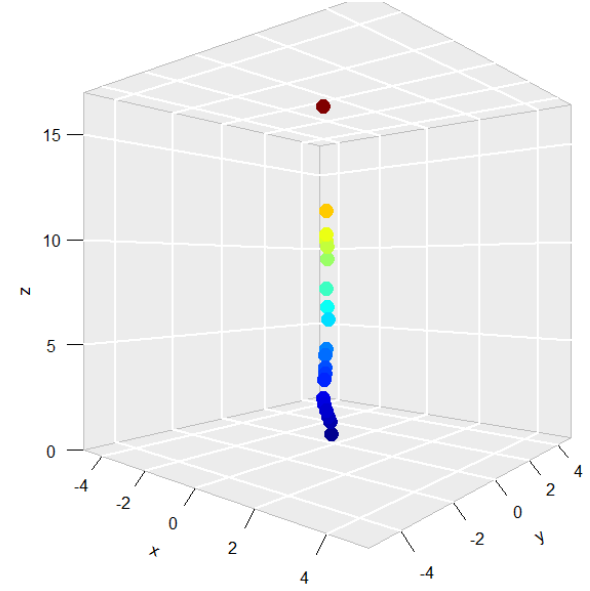
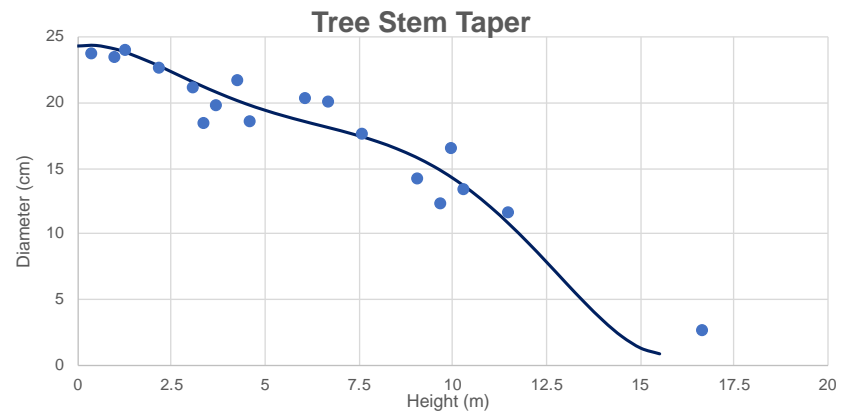
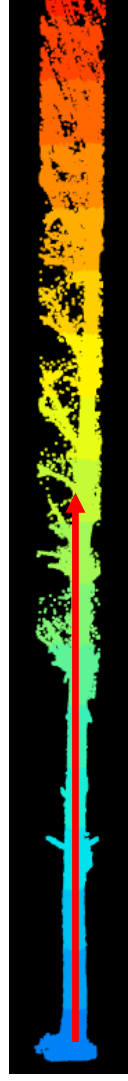
New Technologies: Genetic Test Evaluation from Lidar Cloud Data

Assessment of Individual Stem Shape Parameters

Tree 1
✓ Sinuosity: 6.7%



Tree 1007
✓ Sinuosity: 0.4%



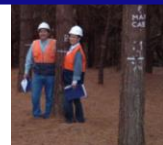
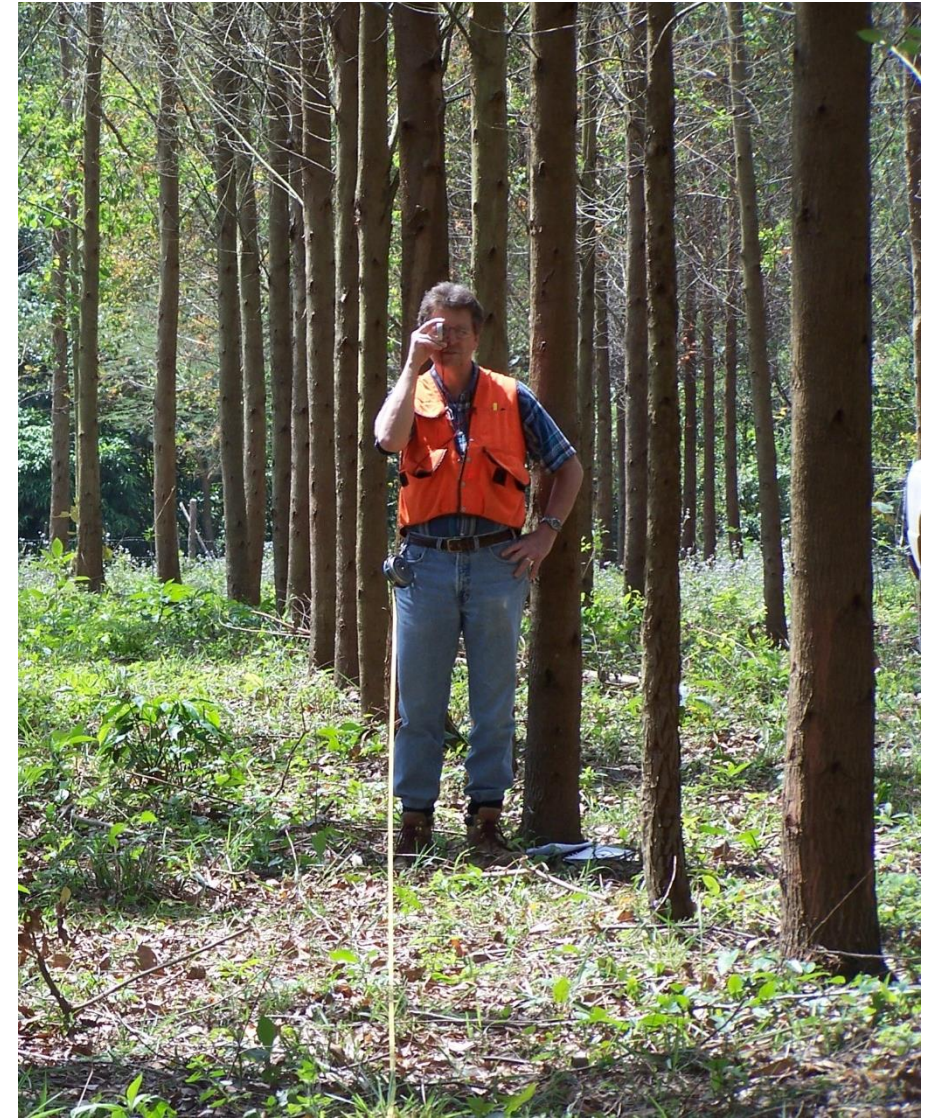
Reflexiones!

- Los **ensayos en campo** son la base sobre la cual se construyen los programas de MGF.
- Cuando la variación ambiental es muy alta en un estudio, la capacidad de elegir los árboles genéticamente superiores disminuye.



Reflexiones!

- Los ensayos en campo son costosos. Un estudio típico cuesta entre **US\$ 5.000 y 20.000** en los primeros 8 años. Por lo que tanto la **dirección** como el grupo de **investigación** deben trabajar juntos para obtener resultados precisos.
- La verdadera ganancia genética solo se logra cuando material superior es **establecido operativamente (viveros!)**



Reflexiones!

- A diferencia de otros métodos silvícolas, **el beneficio de plantar plántulas mejoradas genéticamente es permanentes** y se extienden sobre miles (millones) de hectáreas con un **costo adicional mínimo**.
- Hay que siempre pensar en **especies alternativas** (seguro de vida) y en el desarrollo de **especies híbridas**



Reflexiones!

- Es necesario generar espacios que permitan **conectar** la Universidad con la **industria** → investigación aplicada, nuevas tecnologías y métodos analíticos!
- MGF es costoso y de largo plazo, **trabajar conjuntamente** beneficiaría a las empresas forestales colombianas
- Sector público: motivar la inversión de grandes capitales → Legislación e incentivos



Muchas Gracias!



<https://camcore.cnr.ncsu.edu/>