

SELECCIÓN ACELERADA DE *Eucalyptus* PARA BIOENERGÍA DE LOS PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO FORESTAL DEL MERCOSUR: PROYECTO MINCYT-UEEuropeAid/136-457.

Felipe CISNEROS*^{1,2}, Rocío CARRERAS ^{1,2}, Martín N. GARCÍA ^{2,3}, Pamela V. VILLALBA ^{2,3}, Natalia C. AGUIRRE ^{2,3}, Juan G. RIVAS ^{3,4}, María C. MARTÍNEZ³, Cintia V. ACUÑA ³, Alvaro D. LUDUEÑA¹, Matías DIAZ¹, Javier A. LÓPEZ J.A.⁵, Juan A. LÓPEZ.⁵, Eduardo P. CAPPAS^{2,6}, Pablo S. PATHAUER⁶, Leonel HARRAND⁷, Javier OBERSCHELP⁷, Juana G. MOGLIA¹, Carlos ARÉVALO⁸, José ELIZAUL⁸, Horacio E. HOPP.³, José C. RODRÍGUES⁹, Gustavo BALMELLI¹⁰, Mauricio O. MORAN.⁸, Dario GRATTAPAGLIA¹¹, Susana N. MARCUCCI POLTRI* ³

RESUMEN

Este proyecto integrado se inició financieramente a comienzos del presente año 2017. Esta cooperación pretende incrementar las interacciones entre instituciones de los países del MERCOSUR y UE, con el objetivo común de mejorar la calidad de la madera destinada a fines bioenergéticos, utilizando especies de *Eucalyptus* de importancia económica para la región (*E. dunnii*, *E. calmandulensis*, *E. tereticornis* y *E. grandis*). El consorcio internacional está conformado por instituciones públicas: UNSE e INTA (Argentina), EMBRAPA (Brasil), INIA (Uruguay), ISA (Portugal) y privadas: Desarrollos Madereros SA (Paraguay). El objetivo es acelerar los largos procesos de mejoramiento forestal, aprovechando el avance de metodologías genómicas, caracterizando y seleccionando árboles con mejores características de biomasa, que constituirán la materia prima para producir bioenergía orientada al consumo industrial y/o doméstico. Se focaliza en la obtención temprana de material selecto con mayor poder calorífico (mayor densidad de madera) y mejor composición química de la madera (mayor contenido de extractivos, lignina) para estos fines. La información y materiales generados se difundirán a través de los extensionistas de las distintas instituciones, asociaciones de productores primarios vinculados a la producción forestal, entre otros.

1. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina
2. CONICET, Argentina
3. Instituto de Biotecnología, CICVyA, INTA, Argentina
4. Unidad para el Cambio Rural, Argentina
5. Estación Experimental INTA Bella Vista, Argentina
6. Instituto de Recursos Biológicos, CIRN, INTA, Argentina
7. Estación Experimental INTA Concordia, Argentina
8. Desarrollos Madereros S.A, Paraguay
9. Instituto Superior de Agronomía, Universidad de Lisboa, Portugal
10. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Tacuarembó Uruguay
11. Unidad Recursos Genéticos y Biotecnología, EMBRAPA, Brasil

* efc@unse.edu.ar , * marcuccipoltri.s@inta.gob.ar.

Palabras claves: *Eucalyptus*, dendroenergía, selección genómica, mejoramiento

Introducción

La dendroenergía es la principal fuente de energía para más de 2 mil millones de personas, especialmente en los hogares de los países en desarrollo (FAO 2009). Los biocombustibles, en particular la leña y el carbón vegetal, actualmente suministran más del 14 por ciento de la energía primaria total del planeta. El carbón vegetal y la leña son una fuente importante de energía para industrias regionales caracterizadas por ser compañías familiares y con un sistema de producción tradicional. Las mismas, además de ser importantes para las economías regionales están caracterizadas por una gran oferta de mano de obra rural, en sus distintos grados de especialización. A este grupo pertenecen, por ejemplo, las industrias de producción de ladrillo y artesanías, panaderías, así como la producción de miel de caña, jabones, dulces y las destilerías. Sin embargo, también consumen estas materias primas las industrias mayores como por ej. la siderúrgica, y las de generación de energía eléctrica.

Si bien con cifras poco comparables, la biomasa contribuye significativamente a la producción de energía en los distintos países: la biomasa cubre 6% del consumo final en la Argentina, 17% en Uruguay y 24% en Brasil y del 49,9% en Paraguay (MMC, 2008) Aún en países en los que la contribución relativa pareciera ser menor (como Argentina), la misma cumple importantes funciones a nivel regional y es muy importante para los sectores de bajos recursos en cuanto al consumo doméstico (calefacción, cocción de alimentos, etc.).

La demanda de leña por parte de numerosas industrias rurales y urbanas, junto con el consumo doméstico, provocan una significativa presión sobre la masa boscosa nativa. Para mantener sustentables a estas economías regionales se requiere del cultivo de especies de rápido crecimiento, con altas densidades de plantación, en rotaciones cortas (menos de 5 años) y en sitios próximos a donde se consumen. Además, existen resultados, tanto en la región como en otros países, que muestran que el uso de cultivos forestales para la producción de biomasa es una alternativa a considerar pensando en la generación de energía eléctrica. Lo que se busca en esos casos es la obtención de un gran volumen de biomasa en plazos relativamente cortos (Rockwood et al., 2008; Macedo y Verwijst, citados por Días y Couto, 2006). Por lo tanto y considerando el consenso internacional sobre la necesidad de aumentar la participación de fuentes renovables en la provisión energética resulta importante mejorar y planificar la producción de biomasa según los criterios de sustentabilidad forestal.

Las especies del género *Eucalyptus* constituyen una promisoriosa fuente de biomasa para fines dendroenergéticos, ya que presentan excelente adaptación climático-edáfica y son las más plantadas en la región del MERCOSUR. Particularmente *E. grandis* presenta los mejores valores de crecimiento en Argentina, Paraguay y Uruguay y se utiliza para diversos fines; y *E. dunni* posee mejor adaptación a zonas con heladas y su mayor densidad de madera la hacen una especie interesante para estos destinos. *E. camaldulensis*, por su parte, posee madera dura y pesada y proporciona carbón y leña de muy buena calidad. En este contexto es necesario seleccionar y disponer de material genético apto para estos fines. La estrategia de aceleración del mejoramiento genético mediante la Selección Genómica apuntando a estos fines, es deseable para todos los países.

El objetivo de este proyecto es promover la innovación tecnológica para el uso sustentable de la biomasa, para específicamente acelerar los largos procesos de mejoramiento de eucaliptos del MERCOSUR, utilizando metodologías genómicas que permitan caracterizar y seleccionar árboles con mejores características de biomasa como materia prima para producir bioenergía en los sectores industrial y doméstico. Se busca obtener material selecto tempranamente con mayor crecimiento en volumen y mayor poder calorífico (mayor densidad y mejor composición química de la madera para estos fines, es decir, contenido de celulosa, extractivos y lignina).

Materiales y Métodos

Los materiales constan de 4 poblaciones de *Eucaliptus* que se encuentran en distintas etapas de mejoramiento en países del mercosur: *E. grandis* (Paraguay, de 5 años), *E. tereticornis* (Uruguay) *E.*

dunnii (Argentina de 20 y 23 años) y *E. camaldulensis* (Argentina de 19 años). Las poblaciones de Argentina y Uruguay son de ensayos de familias de medios hermanos (OP), mientras que la de Paraguay es un ensayo clonal. Para realizar la selección se trabajó cosechando muestras de alrededor de 2800 árboles (700 de cada población).

Tabla 1. Detalle de las poblaciones, instituciones y países involucrados en el proyecto.

Especie	Población/cantidad	Institución	Localidad/País
<i>E. grandis</i>	Ensayo Clonal/780 Clones	Desarrollos Madereros S.A.	Hernandarias/Paraguay
<i>E. tereticornis</i>	Ensayo de progenie/ xx familias	INIA	Tacuarembó/Uruguay
<i>E. dunnii</i>	Ensayo Progenie/ XX familias	INTA	Región Pampeana/Argentina
<i>E. camaldulensis</i>	Ensayo de Progenie/113 Familias OP	FCF-UNSE	Santiago del Estero/Argentina

De las 4 poblaciones estudiadas se realizaron las mediciones fenotípicas convencionales respecto a crecimiento volumétrico y densidad de madera (por penetración de Pylodin o gravimetría) a distintas edades. Se realizó la colecta de muestras de hojas y tarugos de madera de aproximadamente 2800 individuos de los cuales se está realizando al extracción de ADN para su genotipado. La genotipificación de los individuos seleccionados se realizará con el Chip de ~60000 SNPs (EUChip60K) recientemente desarrollado y que tiene una amplia cobertura genómica. Las muestras de madera serán utilizadas para realizar estudios de caracterización química y física de la madera. A través de la metodología NIR (Near Infrared Reflectance) se realizarán estimaciones fenotípicas de: tenor y tipo de lignina, relación Syringil/Guayacil de lignina, extractivos, celulosa y densidad de madera, propiedades que son de interés industrial desde varios puntos de vista, y principalmente útiles para fines de bioenergía.

Una vez que se disponga de los datos de marcadores moleculares (SNPs) y de mediciones fenotípicas de las poblaciones, podrán evaluarse parámetros de interés, como el grado de desequilibrio de ligamiento (LD), tests de neutralidad y finalmente revisar la existencia de asociación entre marcadores y fenotipos estudiados en las cuatro poblaciones elegidas. Para realizar la selección genómica se evaluarán distintas metodologías de selección genómica para los fenotipos estudiados en las 4 poblaciones elegidas mediante diferentes paquetes del software R. Adicionalmente, a partir de estos modelos se realizarán rankings de valores de cría estimados genómicos de los individuos de las poblaciones actuales evaluadas con foco en las propiedades directamente relacionadas con la bioenergía.

Resultados esperados

1. Poblaciones de los cuatro programas de mejoramiento genético de *Eucalyptus* spp del MERCOSUR caracterizadas genotípicamente para desarrollar modelos de predicción genética de características favorables para bioenergía.
2. Poblaciones de cuatro programas de mejoramiento genético de *Eucalyptus* spp del MERCOSUR caracterizadas fenotípicamente para las características favorables para bioenergía para desarrollar modelos de predicción genética aplicables a las próximas generaciones de mejora

3. SNPs asociados a características de interés para bioenergía en cada población
4. SNPs asociados a características de interés para bioenergía en cada población localizados en el genoma de referencia
5. Conocimiento de las capacidades predictivas del chip EUChip60K de alta densidad de marcadores para las poblaciones estudiadas de *E. grandis*, y particularmente para las poblaciones de *E. dunnii*; y *E. camaldulensis*(especies muy poco estudiadas hasta el momento). Obtención de modelos predictivos útiles para la arquitectura genética de caracteres para bioenergía para aplicar a próximas generaciones de poblaciones relacionados genéticamente a los de este proyecto. Cabe aclarar que estas últimas especies, a pesar de presentar excelente adaptación y velocidad de crecimiento, menor susceptibilidad a las bajas temperaturas y alta densidad de la madera, han sido poco estudiadas hasta el momento. Los programas de mejora podrán utilizar la información generada en sus poblaciones y acelerar sus ciclos de mejora seleccionando solamente por marcadores, sin necesidad de establecer ensayos de campo y esperar el desarrollo de los árboles.
6. Conocimiento para cada población de las precisiones de los modelos de predicción genómica para cada característica de interés de eucaliptos con fines de bioenergía
7. Obtención del ranking de los mejores árboles para caracteres de bioenergía de las poblaciones evaluadas, desarrollando material mejorado para este fin que estará disponible para agricultores familiares, pequeños productores y pequeñas empresas.
8. Participantes con conocimientos en a) análisis de genotipificación del EUChip60K, b) utilidad, limitaciones y análisis de datos informáticos) análisis de estimaciones mediante el uso de NIR y sus aplicaciones y limitaciones d) análisis de asociación y predicción genómica que podrán aplicarse en las siguientes generaciones de mejoramiento genético forestal, en este caso de cada población de eucaliptos, y a su vez estrategias aplicables a otras especies que dispongan de chips de análisis de SNPs desarrollados.

Literatura citada

FAO (2008). Bosques y energía. <http://www.fao.org/3/a-i0139s.pdf>

MMC Informe Diagnóstico 080328. (2008). Herramientas para mejorar la efectividad del mercado de combustibles de madera en la economía rural. Situación preliminar. BID (Banco Interamericano de Desarrollo, US). 2008.http://www.ssme.gov.py/arch_temp/MMC_Infor_Diag.pdf

DIAS MULLER M., COUTO L. (2006). Avaliação de densidades de plantio e rotação de plantações de rápido crescimento para produção de biomassa. Rede nacional de biomassa para energia. Documento Técnico Renabio N° 002, 65 p.