

Antecedentes de *Miscanthus x giganteus* para la producción de bioenergía



Universidad de Concepción



PROYECTO FONDECYT
Miscanthus & Paulownia
Programa de Bioenergía



Editores

Fernando Muñoz - Jorge Cancino

Antecedentes de *Miscanthus x giganteus* para la producción de **bioenergía**

Fernando Muñoz
Jorge Cancino
Editores

Edición de Texto y Estilo
Ana José Cobar-Carranza

Diseño y Diagramación
Espiga Comunicación Creativa

Imprenta
Ícaro Impresores Ltda.

Agosto de 2014



Editores



Fernando Muñoz Sáez

*Ingeniero Forestal, Mg., Dr.
Profesor Asociado
Facultad de Ciencias Forestales
Universidad de Concepción*

*Correo: fmunoz@udec.cl
Victoria 631, barrio universitario
Concepción, Chile*



Jorge Cancino Cancino

*Ingeniero Forestal, Mg., Dr.
Profesor Asociado
Facultad de Ciencias Forestales
Universidad de Concepción*

*Correo: jcancino@udec.cl
Victoria 631, barrio universitario
Concepción, Chile*

Presentación del libro



La generación de energía desde fuentes renovables es un gran desafío que debe enfrentar Chile. La Universidad de Concepción no ha estado ajena a esta situación, por ello ha desarrollado diversas investigaciones especialmente en la generación de energía a base de biomasa, que ha permitido valorar energéticamente este recurso.

Para enfrentar el desafío de entregar suministro de biomasa permanente y suficiente al mercado de la generación de energía, la Universidad de Concepción se adjudicó el proyecto titulado “Introducción y evaluación del cultivo de *Miscanthus* y *Paulownia* como fuente de biomasa lignocelulósica para la generación de energía renovable en la zona centro sur de Chile”, presentado al Programa de I+D en Bioenergía del Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (Fondef). El proyecto se desarrolló entre diciembre del año 2010 y mayo del 2014, permitiendo obtener importantes resultados para el uso de nuevas especies en cultivos dendroenergéticos.

La relación que la Universidad de Concepción posee con empresas e instituciones ha permitido que este proyecto cuente con el apoyo de 14 entidades, 11 empresas y 3 instituciones, tres de ellas extranjeras, lo cual agradecemos. También ha sido fortalecida la formación de nuevos profesionales e investigadores en bioenergía con la participación de estudiantes de pre y postgrado de la Facultad de Ciencias Forestales, ya sea realizando sus trabajos de titulación o graduación o colaborando en las distintas etapas de desarrollo del proyecto.

Este libro, elaborado por el equipo de investigadores y colaboradores, a quienes junto con agradecer los invita a seguir contribuyendo con nuevas ideas y proyectos, reafirma nuestro compromiso como Universidad de Concepción de incentivar el establecimiento de más y mejores cultivos para la producción de biomasa para uso en la generación de energía y con ello contribuir al desarrollo de la región y el país.

Dr. Bernabé L. Rivas
Vicerrector
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Universidad de Concepción

Equipo de investigación

Equipo directivo

Dr. Fernando Muñoz Sáez, Director del proyecto
Dr. Jorge Cancino Cancino, Sub Director
Dr. Eduardo Acuña Carmona, Investigador
Dr. Miguel Espinosa Bancalari, Investigador
Dr. Rafael Rubilar Pons, Investigador
Ingeniero Forestal Luis Cerda Martínez, Investigador

Asistente Técnico

Ingeniero Forestal Cynthia Labraña Gutiérrez

Estudiantes tesistas

Agustín Jiménez Fernández, pregrado ETS de Montes (España)
David Salguero Ávila, Programa Magíster, Facultad Ciencias Forestales
María Eugenia Hinojosa Rodríguez, pregrado Ingeniería Forestal
Oscar González Araya, pregrado Ingeniería Forestal
Viviana Flórez Uribe, Programa Doctorado, Facultad Ciencias Forestales

Estudiantes colaboradores

Bárbara Henríquez Henríquez, estudiante Ingeniería Forestal
Carlos Soto de la Vega, estudiante Ingeniería Forestal
Carlos Valenzuela Castillo, estudiante Ingeniería Forestal
César Carrasco Campos, estudiante Ingeniería Forestal
Daniela García Figueroa, estudiante Ingeniería Forestal
Fabián San Martín Vásquez, estudiante Ingeniería Forestal
Fernando Sepúlveda Sánchez, estudiante Ingeniería Forestal
Francisco Rivera Irrázabal, estudiante Ingeniería Forestal
Francisco Riquelme Vejar, estudiante Ingeniería Forestal
Gerson Riffo Catril, estudiante Ingeniería en Biotecnología Vegetal
Giordano Jaque Caro, estudiante Ingeniería Forestal
Guido Ruíz Riquelme, estudiante Ingeniería Forestal
James Iturrieta Berríos, estudiante Ingeniería Forestal
Julio García Ramírez, estudiante Ingeniería Forestal
Malu Nahuelpi Pino, estudiante Ingeniería Forestal
Leonardo Muñoz Vega, estudiante Ingeniería Forestal
Paola Gavilán Cárdenas, estudiante Ingeniería Forestal
Rosa Zapata Robles, estudiante Ingeniería Forestal
Waldo Oviedo Quinteros, estudiante Ingeniería Forestal

Agradecimientos

Los investigadores agradecen a las siguientes entidades que apoyaron el proyecto.

Asociación de Municipalidades de la Región del Biobío
Eléctrica Nueva Energía S.A.
Ingeniería y Desarrollo Forestal S.A., Indef
Inversiones Quelén Quelén S.A.
John O’Ryan Surveyors
Masisa S.A.
Papelera Norske Skog Biobío Ltda
Planta S.A., España
Proyersa Energía S.A. Chile
Río Claro Ltda.
Sociedad Agrícola y Forestal La Fortuna Ltda –
Cambium Ltda.
Universidad de Santiago de Compostela, España
Universidad Politécnica de Madrid, España
Vivero Piedra del Águila E.I.R.L.

A la Universidad de Concepción y al Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (Fondef) que dieron soporte financiero al proyecto.

Un especial agradecimiento a los académicos e investigadores Dr. Manuel Bao, Dr. Juan Luis Fernández y Dr. Roque Rodríguez de la Universidad de Santiago de Compostela (España), al Dr. Francisco Marcos de la Universidad Politécnica de Madrid (España) y al Dr. Salvatore Cosentino de la Universidad de Catania (Italia).



Contenido

1.	Introducción	10
2.	Descripción de la especie	12
2.1	Generalidades	13
2.2	Distribución y características edafoclimáticas	13
2.3	Producción de plantas y establecimiento	14
2.4	Aspectos biológicos y manejo del cultivo	15
2.5	Cosecha del cultivo	15
2.6	Crecimiento y rendimiento del cultivo	16
2.7	Daños bióticos y abióticos	16
2.8	Propiedades y usos	17
3.	Objetivos del proyecto	18
4.	Metodología	19
4.1	Descripción de los sitios de ensayo	19
4.2	Multiplicación del material genético utilizado	28
4.3	Preparación de sitio	29
4.4	Siembra de <i>Miscanthus x giganteus</i>	31
4.5	Diseño experimental de siembra	33
4.6	Mediciones y determinaciones realizadas	34
5.	Resultados	36
5.1	Protocolos de propagación de material	37
5.2	Evaluación del crecimiento del cultivo	39
5.3	Rendimiento de biomasa	44
5.4	Caracterización energética	45
5.5	Determinación de etanol	49
5.6	Pélets	50
6.	Conclusiones	52
7.	Bibliografía	54
8.	Anexo Fotográfico	56

Introducción



1. Introducción

La generación de energía desde fuentes renovables es un gran desafío que debe enfrentar Chile. Por esta razón el Estado de Chile, a través de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (Conicyt), ha impulsado la investigación en nuevas fuentes de energía renovable. Así nació el Programa de I+D en Bioenergía del Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (Fondef) en colaboración con la Comisión Nacional de Energía (CNE), que buscaba fomentar la búsqueda de soluciones para incorporar con fuerza a la bioenergía en la matriz energética nacional. En su primer llamado a concurso, la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción se adjudicó el proyecto titulado “Introducción y evaluación del cultivo de *Miscanthus* y *Paulownia* como fuente de biomasa lignocelulósica para la generación de energía renovable en la zona centro sur de Chile” (FONDEF B09I 1008). El proyecto, que se desarrolló entre diciembre del año 2010 y mayo del año 2014, presentó como objetivo “Desarrollar una nueva alternativa de producción de biomasa lignocelulósica para su uso en la cogeneración de energía y elaboración de biocombustibles”. Para ello consideró establecer y manejar plantaciones, a base de material de alta calidad genética (clones) de *Miscanthus x giganteus* y *Paulownia elongata x fortunei*. El material fue importado desde Italia y España para la producción de biomasa lignocelulósica en sitios marginales de la zona centro sur de Chile, evaluando la biomasa producida, así como, sus propiedades energéticas según distintos esquemas de establecimiento.

El presente documento resume, en una primera parte, información de *Miscanthus x giganteus*, su origen, ecología, condiciones de crecimiento, información sanitaria y condiciones de establecimiento. En una segunda parte, se detalla la instalación de las parcelas experimentales en la zona centro sur de Chile, metodologías utilizadas, tanto para su establecimiento como las mediciones y determinaciones realizadas. En una tercera parte, se entregan los principales resultados de la investigación.

Cabe hacer notar que parte de la información que se entrega es común para los ensayos de *Paulownia elongata x fortunei* y *Miscanthus x giganteus*, especialmente en lo referido a la descripción de los sitios de ensayo y las actividades de preparación realizadas (roce, control de malezas, cerco, entre otras).

Descripción de la especie



2. Descripción de la especie

2.1 Generalidades

El género *Miscanthus* pertenece a la familia *Poaceae*, posee alrededor de 14 especies, la mayoría del este de Asia. Entre los 14 taxa destacan *Miscanthus sinensis* Andersson, *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack. y *Miscanthus x giganteus*, utilizados para producir biocombustibles (Scally et al., 2007).

Miscanthus x giganteus (Figura 1) es un híbrido estéril (triploide) producto del cruce entre las especies *M. sinensis* (diploide) y *M. sacchariflorus* (tetraploide), cruce que se cree ocurrió en forma natural. Es una gramínea perenne, se reproduce de forma vegetativa por yemas del rizoma. Presenta ciclos de crecimiento anual con períodos de dormancia en el invierno, puede llegar a crecer hasta 3,6 metros de altura. Su floración no es anual y produce flores estériles, por lo que las semillas no son viables. Esta hierba se utiliza como planta ornamental en jardines, y es de interés para los productores, ya que puede ser utilizada como fuente de celulosa o biocombustible (Smith, 2009).

Investigaciones en Estados Unidos han demostrado que es mucho más eficiente que los cultivos de maíz para producir etanol y requiere menos superficie e insumos para crecer. *Miscanthus* por

responder a planta C4 se caracteriza por una alta absorción de CO₂, alto potencial de rendimiento y bajo consumo de agua (Płazek y Dubert, 2010). Las plantas con este mecanismo tienen rendimientos superiores que las plantas C3 debido a su eficiencia en el uso de la radiación, agua y nitrógeno. Smith (2009) menciona que su mecanismo fotosintético aparece como mejor adaptado a las bajas temperaturas que muchos otros cultivos C4 permitiendo una alta productividad.

2.2 Distribución y características edafoclimáticas

El género es originario principalmente de las zonas tropicales y subtropicales de las islas del Pacífico (Figura 2). Fue introducida en Europa en el siglo XVIII, principalmente como planta ornamental. *Miscanthus* ha sido ampliamente cultivada en Europa como fuente de bioenergía por más de 30 años (Scally et al., 2007).

Miscanthus x giganteus tiene buena capacidad de adaptación a diferentes condiciones de suelo, desde arena a suelos de arcilla con alto contenido de materia orgánica, pero también crece en suelos pobres. Es tolerante a diferentes valores de

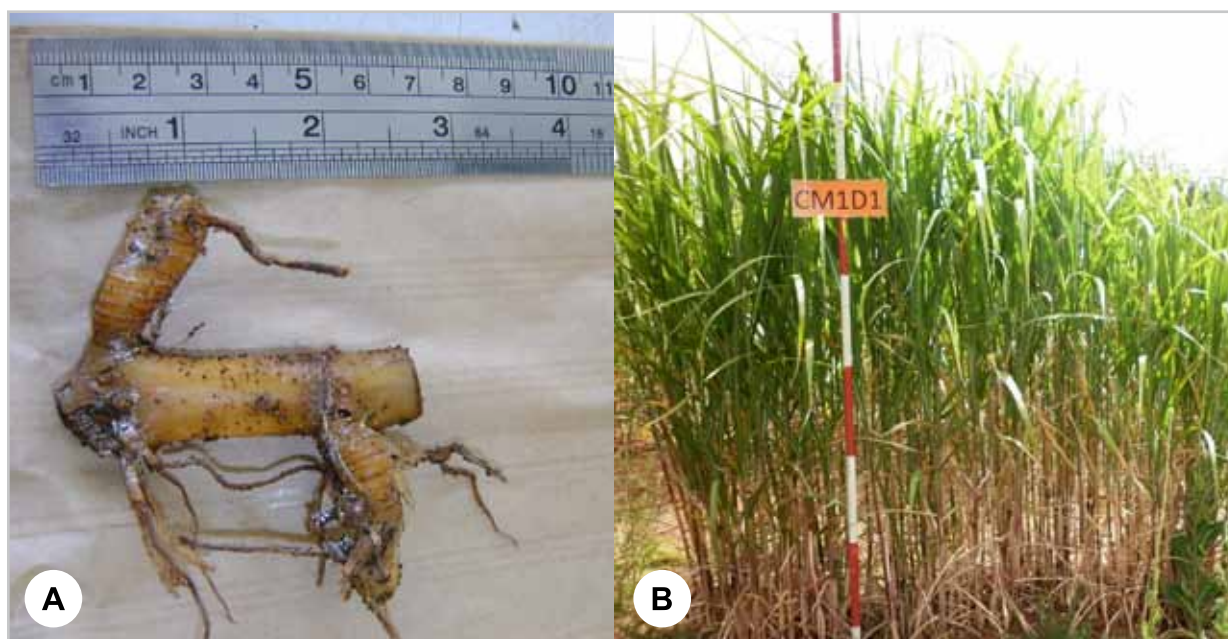


Figura 1. *Miscanthus x giganteus*. A) Rizoma, B) Tamaño de la planta y forma de hojas.

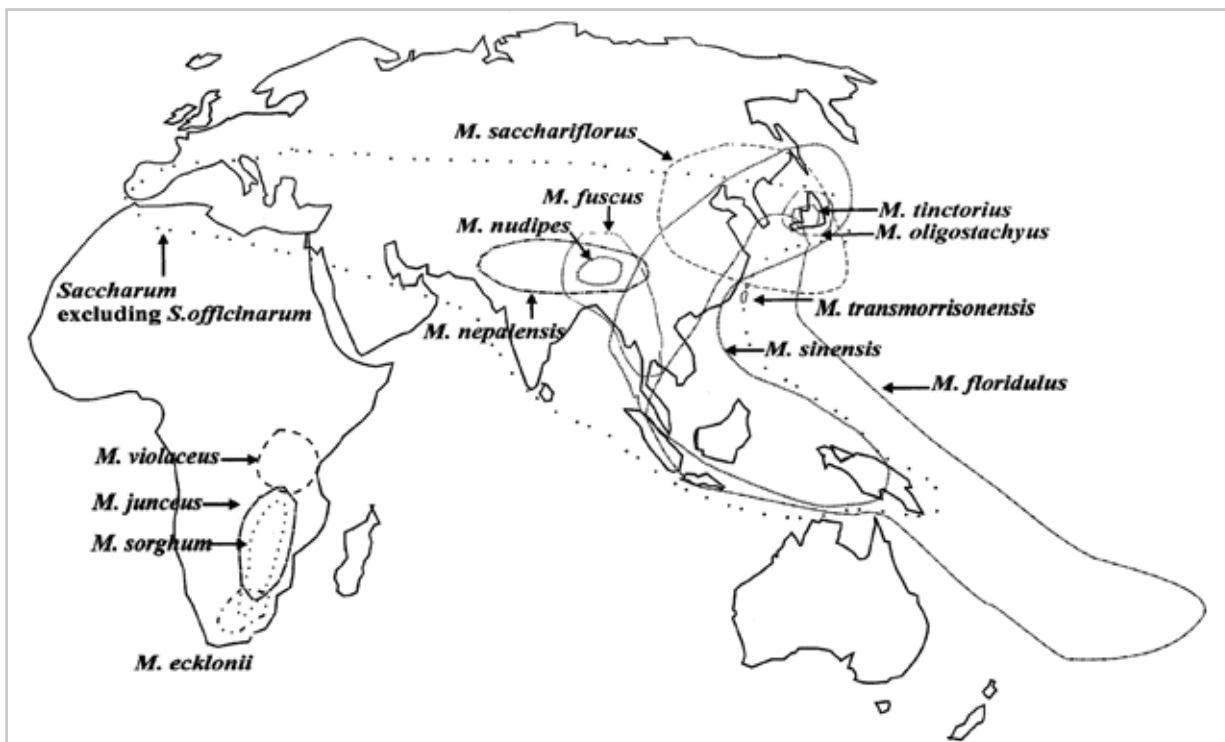


Figura 2. Distribución de las especies de *Miscanthus* en el mundo. Las principales áreas de distribución se muestran por los anillos (Hodkinson et al., 2002).

pH desde 5,5 hasta 7,5 (Teagasc y AFBI, 2010). Estudios realizados en Dinamarca, revelaron mejores resultados en suelos arenosos o franco-arenosos con un contenido de arcilla de hasta un 10%. Sin embargo, el éxito en cultivos en suelos de este tipo, depende de la ocurrencia de las precipitaciones del sitio. Según El-Bassam (1996), los mejores rendimientos se muestran en suelos profundos, con un alto contenido de materia orgánica, alta capacidad de retención de agua y buen drenaje.

2.3 Producción de plantas y establecimiento

La división de rizomas y la propagación in vitro son buenos métodos de propagación (Figura 3). La división de rizomas es preferida por su menor costo y porque produce generalmente plantas más vigorosas. Para producir nuevo material plantable se utilizan plantas de 2 ó 3 años de edad que son divididas durante el período de dormancia, obteniendo trozos de rizoma para el replante. En 2 a 3 años se puede multiplicar 30 a 40 veces la cantidad de rizomas, dependiendo de las condiciones del suelo. Los rizomas deben tener al menos 2 a 3 yemas y deben mantenerse húmedos antes del replante. Para ello se pueden almacenar en frío

(< 4°C) por hasta un año. La densidad óptima de siembra es de 10-15 mil rizomas/ha, la cual podría variar levemente de sitio en sitio. Los rizomas deben ser sembrados entre fines de invierno y principios de primavera. Siembras tempranas toman ventaja de la humedad del suelo a principios de primavera, permitiéndole extender su período de crecimiento y formar un rizoma de mayor tamaño que resista de mejor forma la sequía y el frío (Teagasc y AFBI, 2010).

Otro método de producción de *Miscanthus* es mediante el cultivo de tejidos in vitro y también estacas enraizadas, sin embargo, las plantas resultantes a menudo no sobreviven el trasplante a campo (Pyter et al., 2007). Por el contrario la micropropagación ofrece potencialmente mayores tasas de multiplicación (Lewandowski y Kahnt, 1993), pero estas técnicas son actualmente consideradas más costosas que la división mecánica del rizoma.

Para el establecimiento del cultivo a través de rizomas o plantas de cultivos de tejidos, es necesaria una buena aireación del suelo o una compactación mínima. Dependiendo de las características del lugar donde se planta y aunque la mayor parte del crecimiento subterráneo se produce durante el primer año, ninguna planta alcanza la madurez

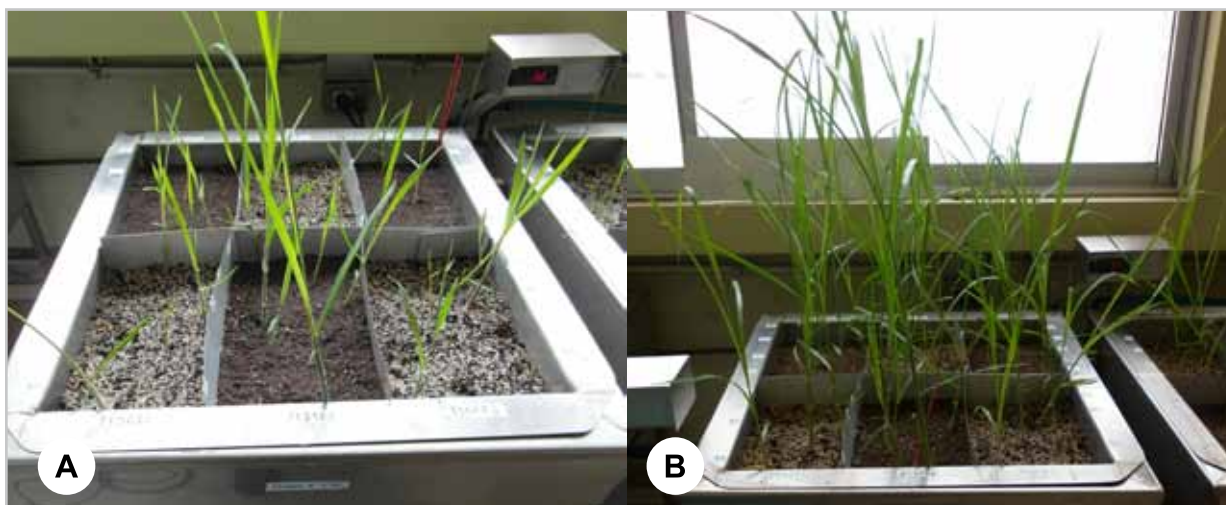


Figura 3. Ensayo de cultivo de *Miscanthus x giganteus*. A) Brotes después de 3 semanas de sembradas en cámaras de crecimiento. B) Desarrollo de plantas después de 6 semanas de sembradas.

antes de 3-4 años (El-Bassam, 1996). La siembra puede llevarse a cabo usando maquinaria de uso agrícola tradicional o de manera manual. Para lograr un establecimiento exitoso es necesario que el rizoma tenga un tamaño de 7-10 cm de longitud y que éste sea ubicado ordenadamente en hilera, a una profundidad de 5-10 cm.

2.4 Aspectos biológicos y manejo del cultivo

El control de malezas en la fase de establecimiento del cultivo es esencial para no afectar su desarrollo. Las malezas compiten por luz, agua y nutrientes y pueden reducir el rendimiento del cultivo. Es importante que los sitios de siembra estén limpios de malezas perennes, para ello una aplicación anual en primavera, con un herbicida de amplio espectro, puede ser necesario. Una vez que el cultivo pasa el segundo año, la interferencia con malezas es mínima, ya que la capa de hojarasca y el cierre de copas reducen significativamente el ingreso de luz al suelo y se reduce el crecimiento de malezas (Teagasc y AFBI, 2010).

Con respecto a los requerimientos hídricos, aunque no existe un consenso sobre la cantidad de agua necesaria para el ciclo de la planta, muchos autores concluyen en que el sitio ideal para el desarrollo de *Miscanthus* debe tener una precipitación que se encuentre entre los 500 mm y 600 mm para obtener rendimientos de 20 a 30 t/ha de materia seca (El-Bassam, 1996).

2.5 Cosecha del cultivo

La cosecha anual de tallos puede realizarse entre abril y junio, usando diferentes máquinas dependiendo de la disponibilidad y requerimiento del cliente final. Para fines energéticos, un enfardado es lo más apropiado, sin embargo esto involucra dos operaciones para producir el fardo, lo que puede aumentar las pérdidas de biomasa. Los fardos son de tipo rectangular, circular y rollos compactos. Las enfardadoras rectangulares grandes y las circulares son capaces de producir fardos con una densidad seca entre 120 y 160 kg/m³, que pesan entre 250 y 600 kg; este tipo de enfardadora tiene un rendimiento de 1 ha/h, obtenido en terreno planos o con pendiente moderada (Figura 4) (Teagasc y AFBI, 2010).

Un factor crítico en los cultivos energéticos es el contenido de humedad en la cosecha. El cultivo es cortado con una segadora, la que quiebra los tallos rígidos, permitiendo la pérdida acelerada de humedad y formando una hilera de material. Esto permite que el enfardado sea más fácil y además ayuda a secar el material, incrementando el área superficial y la circulación de aire en el cultivo. Mientras más seco el cultivo, mayor rendimiento energético y mayor valor del fardo. Contenidos de humedad tan bajos como 15% han sido reportados en el sur de Europa, aunque en el Reino Unido se han reportado valores de 20% mínimo y un promedio cercano al 50%, lo cual puede deberse a que la cosecha se adelanta debido a la aparición de hongos en la base del tallo luego de las primeras heladas (Teagasc y AFBI, 2010).

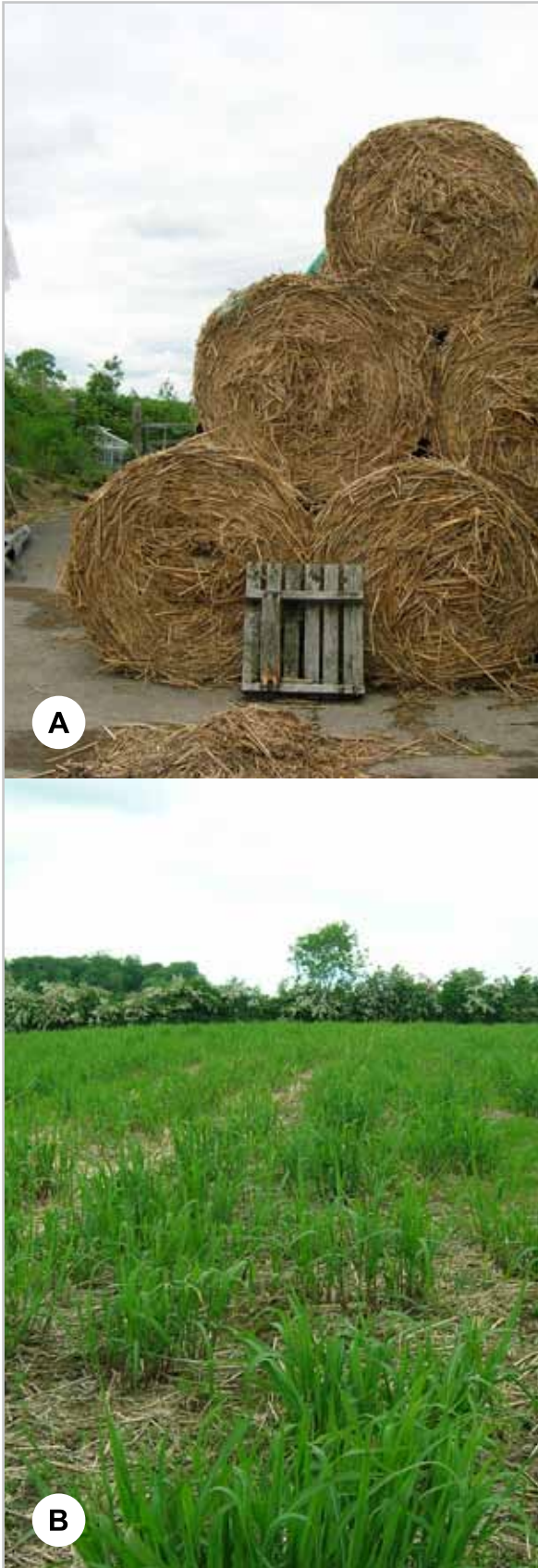


Figura 4. Cultivo de *Miscanthus* en Irlanda del Norte. *Miscanthus* enfardado (A) y sector cosechado iniciando nuevo crecimiento (B).

2.6 Crecimiento y rendimiento del cultivo

Miscanthus ha demostrado ser excepcionalmente productiva en pequeños ensayos en el centro oeste de Estados Unidos, incluso mejor que la especie perenne tolerante al frío C4 switchgrass (*Panicum virgatum*) (Heaton et al., 2008). Además, *Miscanthus* crece muy rápidamente y produce altos rendimientos anuales de biomasa (Lewandowski et al., 2000). El rendimiento de la especie en el primer año de establecimiento es de 1-2 t/ha, al segundo año entre 4-10 t/ha y al tercer año entre 10-13 t/ha o más (Teagasc y AFBI, 2010).

2.7 Daños bióticos y abióticos

Enfermedades comunes y conocidas de los cereales pueden afectar a *Miscanthus*, incluyendo el virus del enanismo amarillo de la cebada (transmitido por pulgones Homoptera: Aphididae), el cual puede limitar el rendimiento (CALU, 2005).

No hay reportes de insectos en Europa que afecten significativamente la producción de *Miscanthus* (Teagasc y AFBI, 2010). Sin embargo, larvas de lepidópteros (nóctuidos y hepialidos) como *Mesapamea secalis* y *Hepialus humuli*, y los gusanos alambre (Coleópteros: Elateridae) han sido observadas alimentándose de *Miscanthus* y podrían causar futuros problemas (CALU, 2005).

Por otra parte, investigadores han reportado la susceptibilidad de los cultivos de *Miscanthus* a enfermedades causadas por hongos tales como *Fusarium* (Beccari et al., 2010), la roya ocasionada por *Melampsora* sp., manchas foliares ocasionadas por *Marssonina brunnea* y canchros ocasionados por *Leptosphaeria* sp. (McKervey et al., 2008). Los conejos también pueden ser un problema en el establecimiento de nuevos cultivos de *Miscanthus*, ya que ellos se alimentan tanto de hojas nuevas emergentes como de las plantas iniciales (Teagasc y AFBI, 2010) (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de potenciales agentes de daños en Chile.

AGENTE	DAÑO	EN CHILE
INSECTOS		
<i>Mesapamea secalis</i> (Lepidoptera: Noctuidae)	Foliar - Tallo	No
<i>Hepialus humuli</i> (Lepidoptera: Hepialidae)	Cuello - Raíces	No
Gusanos alambre (Coleoptera: Elateridae)	Raíces	Si
Pulgones	Foliar	Si
<i>Chrysomela populi</i> (Coleoptera: Chrysomelidae)	Foliar	No
<i>Cryptorhynchus lapathi</i> (Coleoptera: Curculionidae)	Perforador Tallos	No
ENFERMEDADES		
<i>Fusarium</i>	Raíces	Si
<i>Leptosphaeria sp.</i>	Foliar - Cancros tallo	Si
<i>Rosellinia necatrix</i>	Raíces	Si
<i>Melampsora (roya)</i>	Foliar	Si
<i>Marssonina brunnea</i>	Foliar	Si
ARACNIDOS		
Acaros (arañas rojas)	Foliar	Si
VIRUS		
Enanismo Amarillo	Foliar	Si
ANIMALES		
Conejos	Foliar – Tallo	Si

2.8 Propiedades y usos

Miscanthus es un cultivo lignocelulósico que ha sido ampliamente investigado como posible materia prima para papel, energía, materiales de construcción, geotextiles y sustratos en viveros e invernaderos (Lewandowski et al., 2000). Del mismo modo, la sacarificación de la biomasa de *Miscanthus* ha sido reconocida como una fuente de azúcares mixtos de bajo costo, con uso potencial para la fermentación a etanol, combustible o productos químicos (Visser y Pignatelli, 2001).

Su principal uso es en la producción de energía. El poder calorífico neto de *Miscanthus* es alrededor de 17 MJ kg⁻¹ con 2,7% de contenido de cenizas. Ha sido utilizado en co-combustión con carbón y en calderas de producción de vapor (Visser y Pignatelli, 2001).



Objetivos del proyecto / Metodología



3. Objetivos del proyecto

- **General**

Determinar el rendimiento energético de la biomasa de *Miscanthus x giganteus*, obtenida en siembras realizadas en sitios con características edafoclimáticas contrastantes de la zona centro sur de Chile.

- **Específicos**

- Cuantificar la producción de biomasa de *Miscanthus x giganteus*.
- Determinar el poder calorífico de la biomasa de *Miscanthus x giganteus*.
- Estimar la cantidad de etanol producido desde la biomasa de *Miscanthus x giganteus*.
- Evaluar las propiedades de pélets obtenidos desde la biomasa de *Miscanthus x giganteus*.

4. Metodología

4.1 Descripción de los sitios de ensayo

Los ensayos se realizaron en tres sitios, i.e. Fundo La Isla ubicado en Quillón, Fundo Trehualemú ubicado a 13 km de Buchupureo, Pelluhue y Fundo El Vergel ubicado en Chaimávida, Concepción (Figura 5). Los sitios fueron seleccionados considerando los siguientes criterios: productividad forestal media, suelos de aptitud preferentemente forestal, pendiente inferior a 35 grados, gradiente de precipitación de 600-1400 mm anuales, buena conectividad, propietarios estuvieran dispuestos a ceder el área de ensayo por 3 a 4 años de duración del proyecto y condiciones edafoclimáticas contrastantes.



Fundo El Vergel



Fundo La Isla



Fundo Trehualemú

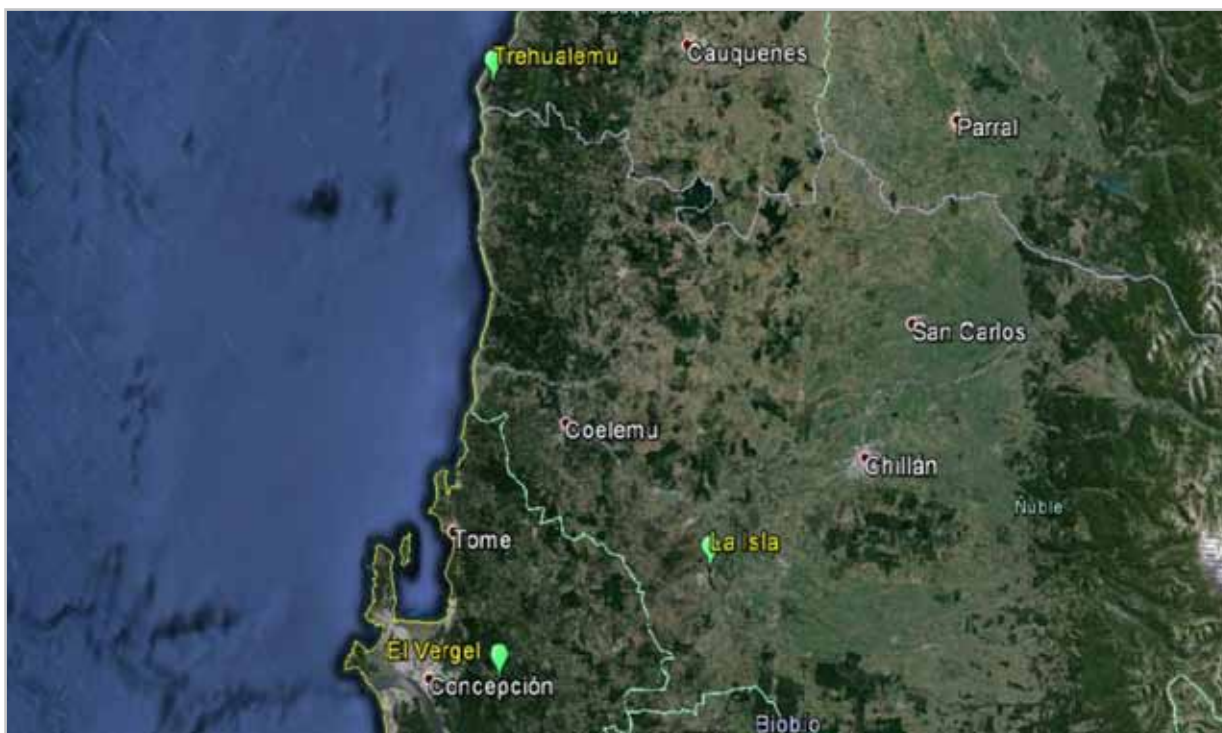


Figura 5. Ubicación de los sitios de ensayo.

Fundo El Vergel

(a) Localización y descripción general. El Vergel se encuentra ubicado en los 36°50'30" latitud sur y 72°54'26" longitud oeste, a una distancia aproximada de 12 km hacia la cabecera municipal de la Ciudad de Concepción, en la comuna y provincia del mismo nombre y a 2 km del sector Chaimávida. El sitio de ensayo (Figura 6) se localiza en el fundo El Vergel, propiedad de la empresa Forestal Collague Ltda. Limita al norte con bosque de regeneración natural del género *Acacia* de aproximadamente de 15 años de edad, al sur con plantaciones de pino y eucalipto pertenecientes a propietario particular y al oeste con plantaciones de la empresa Bosques Arauco S.A.

(b) Clima. El predio se encuentra ubicado en la cuenca del río Andalién y pertenece a la zona agroclimática del seco costero (Del Pozo y Del Canto, 1999). El clima corresponde a clima templado cálido con estación seca de 4 a 5 meses anuales y período libre de heladas entre 6 y 7 meses al año. Su régimen térmico es suavizado por la acción moderadora que ejerce la cercanía al mar. Posee una temperatura promedio anual de 12,2°C con máximas y mínimas en el periodo estival de 22,3°C y 7,6°C e invernal 13,5°C y 4,7°C, respectivamente. Posee un periodo libre de heladas de aproximadamente 4 meses. La precipita-

ción media anual oscila alrededor de 1196 mm, con máximas en el mes de Junio en 292 mm y mínimas en enero de 15 mm (TIGO, 2011). La mayor parte de las precipitaciones ocurre entre marzo a agosto, y en menor grado de septiembre a noviembre. La humedad relativa oscila alrededor del 85% y la evapotranspiración es de 660 mm anuales, con la máxima pérdida de agua por evaporación en el mes de enero, alcanzando 92 mm mensuales (Del Pozo y Del Canto, 1999).

(c) Geomorfología y suelo. La Cordillera de la Costa al sur del río Itata se transforma en una meseta erosionada que no supera los 500 m.s.n.m. La topografía varía desde lomajes a pendientes muy fuertes, complejas y disectadas por quebradas (Figura 7). Su geomorfología se desarrolla sobre un basamento de formaciones rocosas plutónicas que corresponden al batolito de la Cordillera de la Costa, el cual se destaca por su baja permeabilidad.

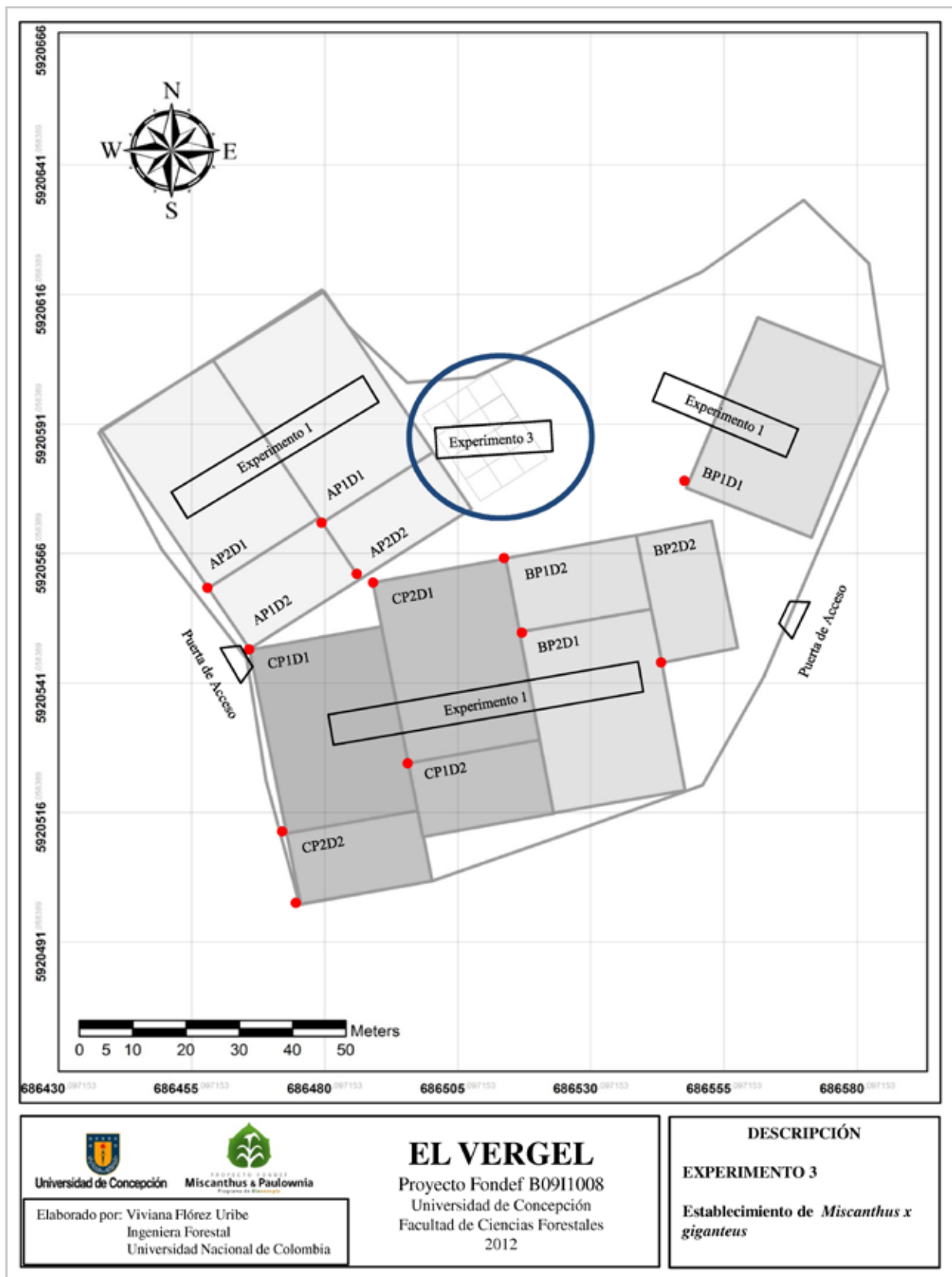


Figura 6. Localización del ensayo en fundo El Vergel.



Figura 7. Sitio de ensayo El Vergel. A) Sector norte. B) Sector sur.

El suelo pertenece a la serie de suelos Trehuaco (TG), suelo profundo bien evolucionado y formado a partir de rocas metamórficas especialmente micasitas y gneiss muy meteorizados, en todo el perfil. Posee altos contenidos de micas y cuarzo. Dentro de la Cordillera de la Costa estos suelos se presentan principalmente en los sectores más altos y la vertiente este, en contacto con la formación granítica. Son suelos bien estructurados, friables, de abundante porosidad que permiten un buen desarrollo de las raíces (CIREN, 1999; Santis, 2005).

Corresponden a la fase de suelos de textura franco arcillosa limosa, moderadamente profundos y pendiente superior al 30%. Presenta erosión laminar moderada y buen drenaje, el agua es removida del suelo con facilidad, pueden retener altas cantidades de humedad para el crecimiento de las plantas después de eventos de lluvia o adiciones de agua por sistemas de riego (Tabla 2).

Tabla 2. Características físico – químicas de los suelos de la región agroclimática seco costero (Fuente: Proyecto FONDEF B091 1008).

Físicas		Químicas		
		Profundidad	0 -20 cm	20-40 cm
Cantidad de Arcilla (%)	45,5	Materia orgánica (%)	4,76	3,33
Cantidad de Limo (%)	19	pH	5,72	5,61
Cantidad de Arena (%)	35,5	N (ppm)	15,01	11,76
Densidad aparente (g/cc)	1,30 - 1,44	P (ppm)	2,00	1,70
		K (cmol (+)/kg)	0,57	0,54
Capacidad de campo (%)	26,08	Ca (cmol (+)/kg)	3,18	2,63
		Mg (cmol (+)/kg)	1,04	0,99
Marchitez permanente (%)	11,87	Boro (ppm)	0,10	0,12
		Zn (ppm)	0,52	0,17
		Fe (ppm)	33,37	17,91
		Cu (ppm)	23	0,17
Agua aprovechable (%)	14,21	Mn (ppm)	38	24,47
		S (ppm)	16,14	24,54
		C (%)	2,76	1,93

Sitio La Isla

(a) Localización y descripción general. El área de ensayo se ubica en 36°44'12" latitud sur y 72°26'49" longitud este, en la comuna de Quillón, provincia de Ñuble, Región del Biobío. El sitio de ensayo (Figura 8) y se localiza en el fundo La Isla, el cual es administrado por la empresa Agrícola y Forestal La Montaña Ltda. Al sitio se accede por la Ruta 148, saliendo desde Quillón con dirección a Bulnes, frente a Laguna Avendaño.

(b) Clima. El clima está influenciado por sus características geográficas. Se ubica en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa donde el relieve atenúa la influencia marítima y se encuentra bajo el régimen hidrológico del río Itata y la Laguna Avendaño. Corresponde a las características típicas de clima mediterráneo templado cálido, el cual comprende la mayor parte de la Región del Biobío. La temperatura media anual oscila entre los 13,3°C y 15,6°C, con una amplitud térmica anual (T° máxima en enero – T° mínima en julio) que supera los 22°C. Puede presentar de 4 a 5 meses secos al año. En la época invernal la temperatura oscila alrededor de los 10°C, con mínimas entre 3,9°C y 5,2°C, con heladas durante 5 a 6 meses (Del Pozo y Del Canto, 1999).

La precipitación media anual es de 1025 mm. El 80% se concentra entre abril y agosto, donde alcanza la mayor disponibilidad de agua en el suelo para el establecimiento de cultivos. La evapotranspiración potencial está entre 1100 mm y

1200 mm al año. El déficit hídrico equivale a 280 mm anuales.

(c) Geomorfología y suelo. La topografía dominante dentro de la comuna es ondulada a plana. Se distinguen paisajes con llanos y lomas bajas. La morfología y relieve están determinados por modelos de erosión y sedimentación de material proveniente tanto de la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa, también llamada Depresión Central, como por restos de piroclastos de erupciones volcánicas del Antuco, que fueron arrastrados hacia la parte inferior del valle fluvial del río Itata.

A nivel regional, el secano interior se caracteriza por tener suelos derivados de rocas metamórficas, rocas graníticas y suelos argílicos provenientes de sedimentos lacustres. Con textura franco – arcillo - arenosa, con bajos contenidos de fósforo, nitrógeno y materia orgánica. El pH varía entre 6,5 y 6,7, con bajos contenidos de calcio y azufre no recomendables para la agricultura, pero sí para la actividad forestal (Tabla 3).

Tabla 3. Características físico – químicas de los suelos de la región agroclimática secano interior (Fuente: Proyecto FONDEF B091 1008)

Físicas		Químicas		
		Profundidad	0 -20 cm	20-40 cm
Cantidad de Arcilla (%)	2,1	Materia orgánica (%)	2,11	1,11
Cantidad de Limo (%)	4,8	pH	6,54	6,70
Cantidad de Arena (%)	93,1	N (ppm)	5,92	4,03
Densidad aparente (g/cc)	1,49 - 1,54	P (ppm)	4,17	3,19
		K (cmol (+)/kg)	0,19	0,21
Capacidad de campo (%)	11,68	Ca (cmol (+)/kg)	1,55	1,43
		Mg (cmol (+)/kg)	1,34	1,41
Marchitez permanente (%)	2,03	Boro (ppm)	0,12	0,11
		Zn (ppm)	0,14	0,10
Agua aprovechable (%)	9,65	Fe (ppm)	35,84	28,83
		Cu (ppm)	0,36	0,41
		Mn (ppm)	1,98	1,95
		S (ppm)	3,18	2,93
		C (%)	1,22	0,64

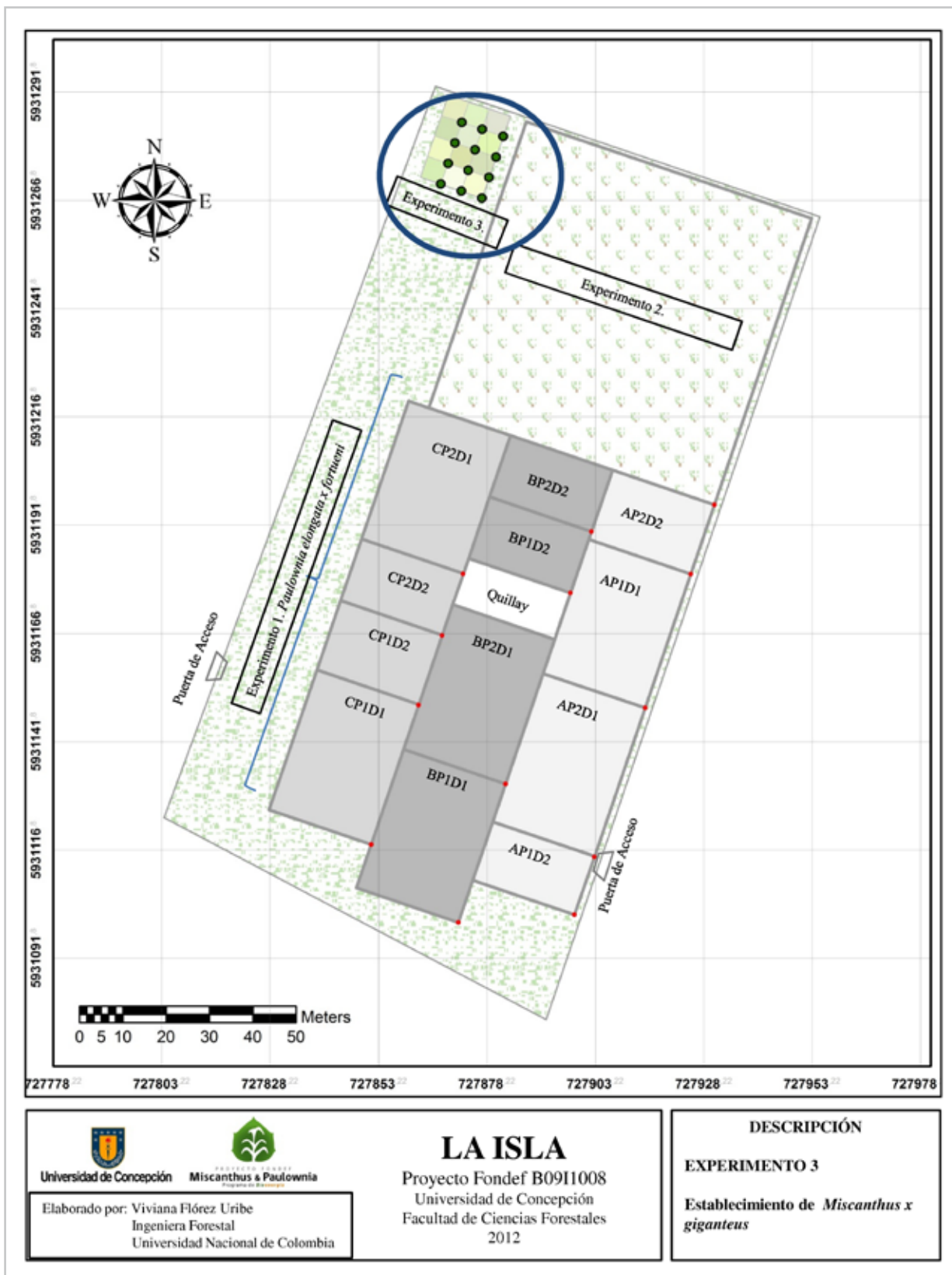


Figura 8. Área de ensayo La Isla.

El suelo del sitio del ensayo pertenece a la serie de suelos Llahuecuy (LHY), familia mixta de los Typic Xeropsamments (Entisol). Los suelos aluviales, formados en las terrazas altas del río Itata, pertenecen a la clase textural Arenosa, con rápida permeabilidad y excelente drenaje. Son suelos profundos, ligeramente inclinados con pendiente entre el 0 y 3%. Se clasifican dentro de los suelos con capacidad de uso IIs0, IIIe1 y IVe1, con limitaciones de nutrientes, contenido de humedad, y clima desfavorable para el establecimiento y desarrollo de algunos cultivos agrícolas (Figura 9).



Figura 9. Sitio de ensayo La Isla. A) Sector norte. B) Sector sur.

Fundo Trehualemu

(a) Localización y descripción general. El fundo se ubica en la localidad de Trehualemu, perteneciente a la comuna de Pelluhue, en la Región del Maule, en los 35°58'29" latitud sur y 72°45'8" longitud oeste, rodeado de plantaciones forestales con pino insigne. El sitio de ensayo (Figura 10) se localiza en el fundo Trehualemu, propiedad de la empresa MASISA S.A. Corresponde a la franja costera ubicada entre la vertiente occidental de la costa y el Océano Pacífico. El predio se encuentra a 14 km de Buchupureo en la Región del Maule y se accede por la Ruta N – 102 con dirección a Pelluhue.

(b) Clima. El área de estudio se encuentra en la zona agroclimática del secano costero. A nivel local, el área de ensayo se ubica dentro del régimen hidrológico de las cuencas costeras de los esteros Trehualemu y Pullay. Presenta un tipo de clima templado cálido que se extiende desde el río Mataquito por el norte, hasta el río Itata por el sur. En este sector, las lluvias son frontales y más abundantes en invierno, precipitándose más del 70% de las lluvias entre mayo y agosto. La estación seca se prolonga de 4 a 6 meses entre octubre y marzo. En el área de ensayo, la precipitación media anual es de 898 mm, con máximas en el período invernal de 200 mm y mínimas en el período estival de 9 mm. La evapotranspiración total anual alcanza los 720 mm, con el mayor déficit hídrico en el mes de enero donde alcanza 109 mm.

Los vientos del frente litoral predominan en la época de otoño e invierno y bajan la temperatura más del promedio correspondiente a la misma latitud. La temperatura varía en un rango medio anual entre 8,9°C y 19,2°C, teniendo una oscilación térmica diaria desigual, con cambios hasta de 11°C entre la mínima y la máxima. La temperatura promedio anual es de 14,1°C, posee mínimas y máximas en la estación invernal de 6,0°C y 14,6°C y estival de 11,2°C y 24,4°C, respectivamente. Cuenta con un período libre de heladas de hasta 9 meses (Del Pozo y Del Canto, 1999).

(c) Geomorfología y suelo. La morfología a nivel comunal se caracteriza por un patrón orográfico transversal desde el oeste hacia el este, con la planicie litoral del Océano Pacífico que incluye acantilados y playas, y la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa sobre la cual se localiza el fundo. Su topografía dominante son lomas con pendientes moderadamente inclinadas, susceptibles a la erosión, proceso que no ha afectado la

productividad del suelo.

El suelo es formado presumiblemente con el asentamiento de cenizas volcánicas, sobre terrazas marinas que se levantan entre los 30 y 200 m.s.n.m, son fértiles con base en rocas metamórficas. Pertenece a las series de suelos Cobquecura (CBC), miembro de la familia limosa fina mixta métrica de los Umbric Dystrochrepts (Inceptisol) (Tabla 4).

Estos suelos presentan textura superficial franco arcillo limosa, profunda, suavemente ondulada de 5 a 8% de pendiente. Suelo de permeabilidad lenta a moderada, con buena capacidad de retención de humedad, buena estructura y con alta actividad biológica. Posee capacidad de uso tipo IVs1 con limitaciones de uso agrícola propias del suelo susceptible a la erosión por agua y por viento.

La construcción de caminos forestales y la utilización de maquinarias asociadas al aprovechamiento y cosecha forestal han aumentado el nivel de erosión. De acuerdo con el SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental), la zona de estudio posee un potencial de erosión bajo en comparación con los sectores más altos de la vertiente cordillerana. Presentan limitaciones para la actividad forestal debido a la compactación de los horizontes inferiores del suelo, y la escasa profundidad efectiva (Carrasco y Millán, 1990). Además poseen bajo contenido de nitrógeno, fósforo y materia orgánica en los primeros horizontes, disminuyendo hacia los horizontes más profundos, generando una limitación para algunas actividades agrícolas y forestales (Figura 11).

Tabla 4. Características físico – químicas de los suelos de la región agroclimática secano costero (Fuente: Proyecto FONDEF B09I 1008).

Físicas		Químicas		
		Profundidad	0 -20 cm	20-40 cm
Cantidad de Arcilla (%)	41,3	Materia orgánica (%)	10,55	9,12
Cantidad de Limo (%)	45,9	pH	5,36	5,35
Cantidad de Arena (%)	12,9	N (ppm)	18,24	15,11
Densidad aparente (g/cc)	1,07 – 1,35	P (ppm)	7,54	5,22
		K (cmol (+)/kg)	0,75	0,54
Capacidad de campo (%)	41,07	Ca (cmol (+)/kg)	3,81	3,79
		Mg (cmol (+)/kg)	1,83	1,60
Marchitez permanente (%)	16,64	Boro (ppm)	0,29	0,27
		Zn (ppm)	1,03	0,63
Agua aprovechable (%)	24,43	Fe (ppm)	112,41	97,12
		Cu (ppm)	0,64	0,45
		Mn (ppm)	28,72	19,41
		S (ppm)	13,00	12,46
		C (%)	6,12	5,29



Figura 11. Sitio de ensayo Trehualemu. A) Sector norte. B) Sector sur.

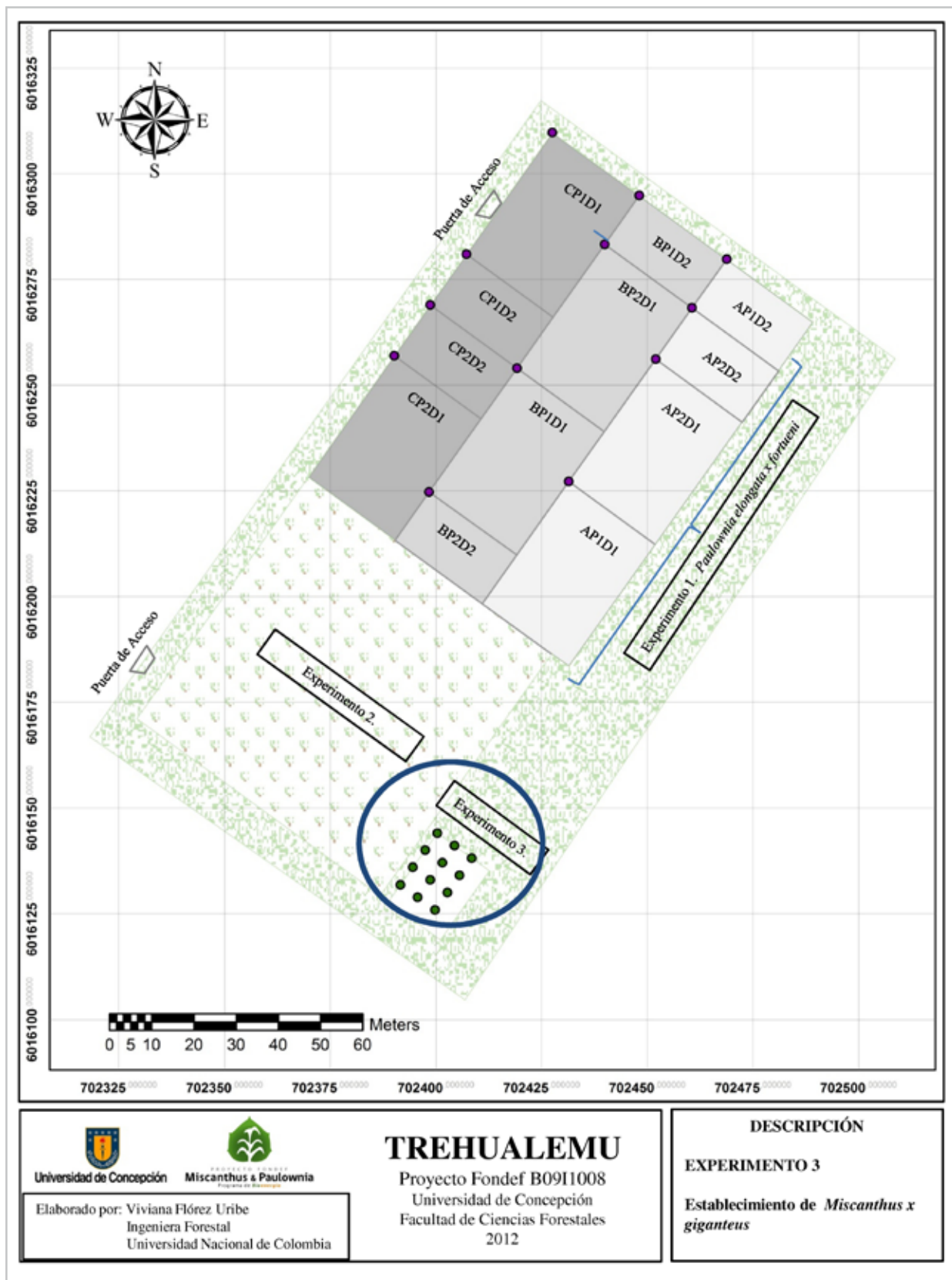


Figura 10. Localización del ensayo en fundo Trehualemu.

4.2 Multiplicación del material genético utilizado

Debido a que no existían antecedentes de protocolos de multiplicación de *Miscanthus x giganteus* en Chile, se probó varios métodos de propagación, para micro y macropropagación, con el fin de establecer protocolos de cultivo efectivos para la especie.

La micropropagación se realizó mediante cultivo in vitro para lo cual se probó medios de cultivo y diferentes concentraciones de hormonas con las indicaciones encontradas en la literatura. La macropropagación se realizó en cámaras de temperatura controlada, probando diferentes sustratos y temperaturas.

Los ensayos de multiplicación se realizaron con material vegetal de *M. giganteus* clon Hornum y clon Picoplant internados en Chile. Se realizaron cuatro internaciones cada una con diferente proveedor y procedencia, debido a que no se tuvo éxito con los materiales de las primeras interna-

ciones. Para realizar la internación de rizomas de *Miscanthus* se debe tomar en cuenta la época de recolección del material en campo y la condición de embalaje para el traslado, éstos son dos factores clave para evitar la contaminación del material por patógenos como el hongo *Fusarium sp.*

El proveedor de los rizomas del clon Picoplant fue la Universidad de Catania, Italia; se importaron 300 rizomas durante octubre de 2011. Los rizomas fueron sembrados directamente en terreno y en cámaras de cultivo (Figura 12), con una sobrevivencia del 90% del material total importado. Para asegurar el éxito se tomó todas las precauciones de mantención de humedad, época de recogida en lugar de origen, limpieza del material, tipo de embalaje y consideraciones al momento de establecer en cámaras y en sitios de ensayo. El clon Hornum fue provisto por la Universidad de Santiago de Compostela, España; se importaron 150 rizomas, recolectados en noviembre de 2011.



Figura 12. Siembra de rizomas de *Miscanthus x giganteus*, clon Picoplant, origen Universidad de Catania (Italia).

4.3 Preparación de sitio

Roce y manejo desechos

Este procedimiento consistió en el ordenamiento y/o eliminación de la vegetación existente y el manejo de los desechos que se originan en la faena de roce, para dar lugar a la siembra de *Miscanthus* y facilitar las posteriores actividades.

(a) Sitio El Vergel (Figura 14- a3): Se realizó roce manual, con herramientas de corte y rozadora, y mecanizado, mediante el uso de bulldozer. Se extrajeron los residuos fuera del área de estudio con fines de aprovechamiento, el resto de los residuos fueron eliminados mediante quema controlada.

(b) Sitio Trehualemu (Figura 14- a1): Se realizó un ordenamiento de los desechos de cosecha de la plantación de pino insigne que existía en el área. El ordenamiento se efectuó fuera del área de estudio con bulldozer. No fue necesario realizar roce debido a la escasa vegetación en pie que quedó luego de la cosecha de la plantación.

(c) Sitio La Isla (Figura 14- a2): Se eliminó la vegetación en pie, principalmente arbustos, mediante el uso de bulldozer. Los desechos generados fueron distribuidos homogéneamente en el área de estudio.

Subsolado

En los tres sitios se realizó subsolado mecanizado que consistió en el fraccionamiento del suelo hasta una profundidad de 80 cm (Figura 14- b1, b2 y b3). Simultáneamente y con la ayuda de discos se formó un camellón, de ancho aproximado de 1 m, donde se establecieron las plantas. El espaciamiento entre las líneas de subsolado fue de 2 m (Figura 13). En el sitio El Vergel se procuró que el subsolado siguiera las curvas de nivel.

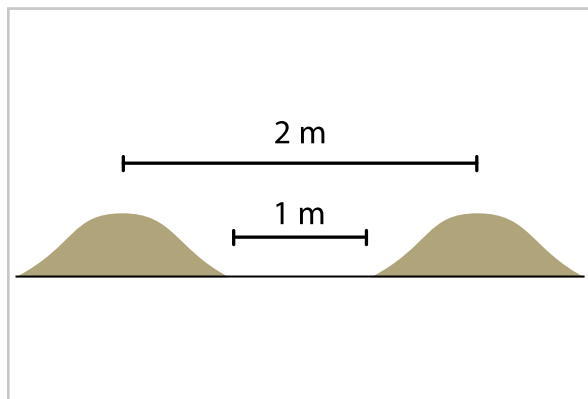


Figura 13. Descripción de subsolado realizado.

Construcción de cerco para los sitios de ensayo

Se construyó un cerco perimetral para asegurar la exclusión de animales domésticos y lagomorfos (conejos y liebres), durante toda la etapa de evaluación del ensayo (aproximadamente 4 años).

En los sitios El Vergel y La Isla (Figura 14- c2 y c3), se colocaron polines de 2,2 m de largo y 4" de diámetro cada 2,5 m, malla de alambre de 1 m de altura y sobre la malla cuatro hileras de alambre de púa hasta una altura de 1,45 m (distancia entre hebras de 15 cm). Adicionalmente se construyó dos puertas de acceso de 1 m de ancho en dos lados opuestos del cerco.

En el sitio Trehualemu (Figura 14-c1) el cercado se realizó utilizando los mismos polines cada 2,5 m de distancia y cuatro hileras de alambre de púa a una distancia en altura de 35 cm, siendo la última hebra colocada a una altura de 1,45 m. Adicionalmente se construyó dos puertas de acceso de 1 m de ancho en dos lados opuestos del cerco.

Control de maleza

La eliminación de malezas pre-siembra se realizó mediante control químico en los tres sitios de ensayo. También se realizaron controles de maleza mecánico post-siembra. Este proceso se realizó ya que no se conoce experiencias, de la aplicación de herbicidas luego de establecida la siembra con las especies bajo estudio.

(a) Control químico. Consistió en la eliminación de la maleza (herbácea y arbustiva) mediante la utilización de mezcla de productos químicos. El control de maleza se efectuó en toda la superficie del ensayo, utilizando bombas de espalda y boquilla antideriva. La faena se realizó antes de iniciar la siembra (Figura 14-d1, d2 y d3).

Los productos químicos utilizados, así como su dosificación fue diferente para cada sitio. En sitio El Vergel se utilizó una mezcla de Panzer Gold (3,0 L/ha) y Garlon 4 (0,7 L/ha). En sitio Trehualemu se utilizó Roundup Full (4 L/ha, 66,2%), con surfactante incorporado (200 L/ha al 100%). En sitio La Isla se utilizó Panzer Gold (3,0 L/ha) y Starane (0,5 L/ha). Se efectuó un control en sitio El Vergel y La Isla, y dos en Trehualemu.

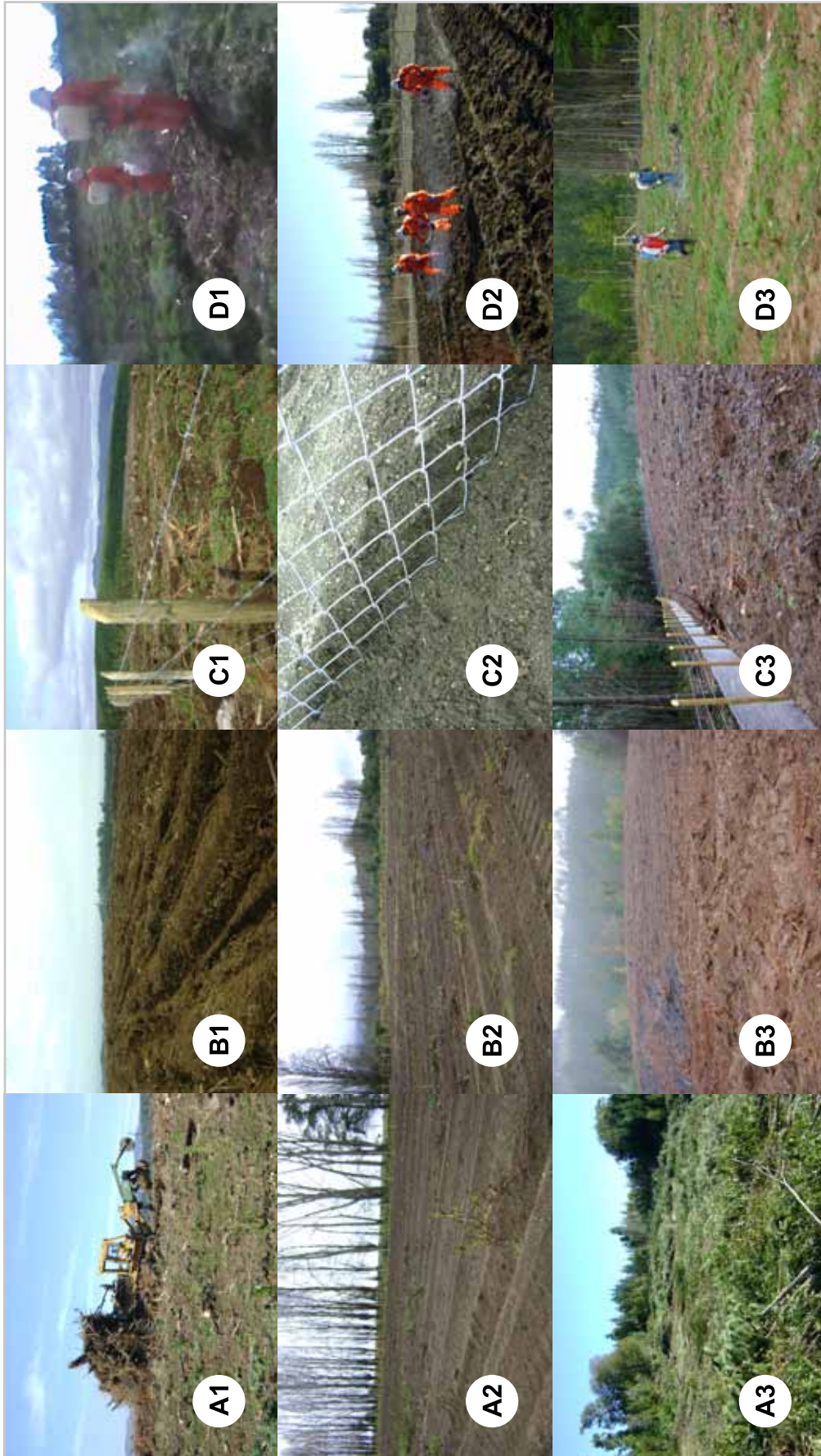


Figura 14. Fotografías de roce (a), subsolado (b), cercado (c) y control de malezas químico (d). El número (1) corresponde al sitio Trehualemu, (2) sitio La Isla y (3) sitio El Vergel.

(b) Control mecánico. El control de maleza mecánico consistió en la eliminación de la vegetación mediante azadones y/o rozón en una área de alrededor de 50 cm de cada planta de *Miscanthus* (Figura 15). También se extrajo la maleza entre las

líneas de la siembra y sobre las líneas de siembra. Todo el material vegetal extraído se dejó en el lugar. Este tipo de control se realizó dos veces en sitio El Vergel y La Isla, y una vez en Trehualemú.



Figura 15. Control mecánico de malezas en sitio La Isla (septiembre 2012).

4.4 Siembra de *Miscanthus x giganteus*

Siembra

La metodología de siembra fue la misma para ambos materiales genéticos (Picoplant y Hornum). La siembra de rizomas (similar a un bulbo) consideró el establecimiento de parcelas en dos densidades: 20.000 y 40.000 brotes/ha. Para ello se realizó una selección previa de las yemas presentes en cada rizoma, de manera tal que cuatro yemas/rizomas se establecieron en la densidad 20.000 brotes/ha y sobre cuatro yemas/rizoma en densidad 40.000 brotes/ha. Cada rizoma presentó un peso que varió entre 15-40 gr y largo entre 10-12 cm.

Los rizomas fueron sembrados en casillas elaboradas con pala plantadora, previamente señaladas con varillas. Toda la siembra se efectuó sobre los camellones establecidos. Al momento de sembrar se aplicó en la casilla gel hidrocaptador mezclándolo con suelo y aplicando 1 litro de agua distribuido antes y después de introducir el rizoma en la casilla a una profundidad aproximada de 10 cm.

La superficie sembrada para cada material genético fue de aproximadamente 0,03 ha en cada sitio de ensayo (Trehualemú, El Vergel y La Isla). La siembra se realizó en 12 parcelas experimentales establecidas en los sitios de ensayos utilizando 144 rizomas por sitio para cada clon. En total se establecieron 432 rizomas por clon (Figura 16).



Figura 16. Secuencia de siembra de *Miscanthus* en sitios de ensayo.

Fertilización

De acuerdo a los análisis químicos realizados en los distintos sitios de ensayo se determinó aplicar los siguientes fertilizantes en mezcla: Fosfato Diamónico (DAP) que contiene nitrógeno (N) y fósforo en la forma (P_2O_5), Sulpomag que contiene azufre, potasio y magnesio, y Boronatrocalcita que contiene boro en la forma (B_2O_3) y calcio (Tabla 5).

La aplicación se realizó en una pequeña zanja de entre 10-15 cm de profundidad alrededor de cada planta a una distancia entre 30-40 cm. Fue realizada en todos los sitios de ensayo a fines de octubre del 2011 (Figura 17).



Figura 17. Fertilización en ensayos de *Miscanthus*

Tabla 5. Dosificación de fertilizantes por sitio de estudio.

SITIO	DAP, g	SULPOMAG, g	BORONATRO-CALCITA, g
La Isla	100	50	25
Trehualemu		50	25
El Vergel		50	25



4.5 Diseño experimental de siembra

El diseño experimental presenta los siguientes objetivos:

- Determinar el efecto de la densidad de siembra sobre el desarrollo y rendimiento en biomasa de cultivos de *M. x giganteus*.
- Determinar el efecto de dos genotipos de *M. x giganteus* en su desarrollo y rendimiento en biomasa.
- Determinar el efecto de las características de sitio sobre el desarrollo y rendimiento en biomasa de *M. x giganteus*.

Cada ensayo se estableció con un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial, con cada factor, i.e. genotipo y densidad

de siembra, en dos niveles y tres repeticiones. Se evaluaron 36 parcelas de ensayo, i.e. 12 parcelas de tratamiento por sitio: 2 clones, 2 densidades, 3 repeticiones. Se evaluó la densidad de siembra de 20.000 y 40.000 brotes/ha y el efecto de dos clones de *Miscanthus*, i.e. Picoplant y Hornum, en lo que sigue de este documento denominado respectivamente D1 y D2 para el factor densidad, y M1 y M2 para el factor genotipo, respectivamente (Figura 18).



Figura 18. Siembra de rizomas de *Miscanthus* en sitio La Isla. Instalación del ensayo (A), vista general (B).

Diseño de establecimiento

El diseño consideró parcelas cuadradas de 25 m² (5 x 5 m) para cada densidad de siembra. Ambas densidades de siembra D1 y D2 presentan 24 rizomas por parcela con un espaciamiento de 0,625 m sobre la línea de siembra y 1,667 m entre cada línea. Para la densidad D1 se consideró un número de yemas por rizoma menor a 4, en tanto que para la densidad D2 se consideró un número de yemas por rizoma mayor o igual a 4. Las parcelas de medición se ubicaron en el centro de cada parcela de tratamiento y estaban delimitadas por un área de borde equivalente a una línea de siembra de rizomas a cada lado de la parcela. Así, las parcelas de medición en ambas densidades D1 y D2 fueron de 6,25 m² cada una i.e. 6 rizomas.

4.6 Mediciones y determinaciones realizadas

Se realizaron varias mediciones en función de los elementos a evaluar: crecimiento, biomasa, calorimetría, etanol y pélets. Las mediciones se realizaron para ambos clones.

Crecimiento del cultivo

Para evaluar el crecimiento de la siembra en las parcelas centrales de medición se midió variables como número de brotes por rizoma. Para cada brote se midió la altura total (HT) y altura a la vaina (HV) (Figura 19). Esta medición se realizó en dos períodos, la primera rotación que correspondió a los años 2011-2012; y la segunda rotación en los años 2012-2013 (González, 2014). Esta actividad se realizó sólo en las parcelas experimentales establecidas con el clon Picoplant, debido a que la siembra del clon Hornum no generó prácticamente ninguna planta.

Biomasa

La determinación de la biomasa consistió en un muestreo destructivo de las plantas de *Miscanthus* (clon Picoplant) en cada una de las unidades experimentales. Esta determinación se realizó en dos períodos, la primera rotación que correspondió a los años 2011-2012; y la segunda rotación en los años 2012-2013. Una vez cortadas las plantas se pesaron para obtener el peso en verde. Las muestras luego fueron llevadas al laboratorio y secadas en estufa hasta peso constante. La determinación de la biomasa total se realizó mediante la relación entre el peso seco y peso húmedo de las muestras (González, 2014).

Caracterización energética

Contenido de humedad

Para conocer las características energéticas se calculó el contenido de humedad en base húmeda y base seca. El método empleado se basó en las normas experimentales españolas UNE-EN 14774 - 1 (Julio 2010) y UNE-EN 14774-3 (Julio 2010). La humedad fue calculada para hojas secadas en estufa y a temperatura ambiente, para cada medición se tomaron tres muestras de 100 g cada una, por unidad experimental, muestras que fueron molidas, trituradas y comprimidas antes de secarse.

Contenido de cenizas

Se determinó el contenido de cenizas en 10 submuestras de 1 g de biomasa de tallo y hojas sometidas a 550°C en horno hasta ser calcinadas. Las submuestras se obtuvieron de tres muestras de biomasa de 100 g cada una por unidad experimental, las cuales se secaron en horno hasta peso constante y se trituraron en un molino.

Análisis elemental y poder calorífico

Se tomaron tres muestras de biomasa de tallo y hojas, por unidad experimental, de 100 g cada una, las cuales se trituraron en un molino. Se tomó tres muestras de polvo, de 10 g cada una (10 submuestras por muestra, de 1 g cada una), por unidad experimental y se cuantificó el poder calorífico y el contenido total de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N) y azufre (S).

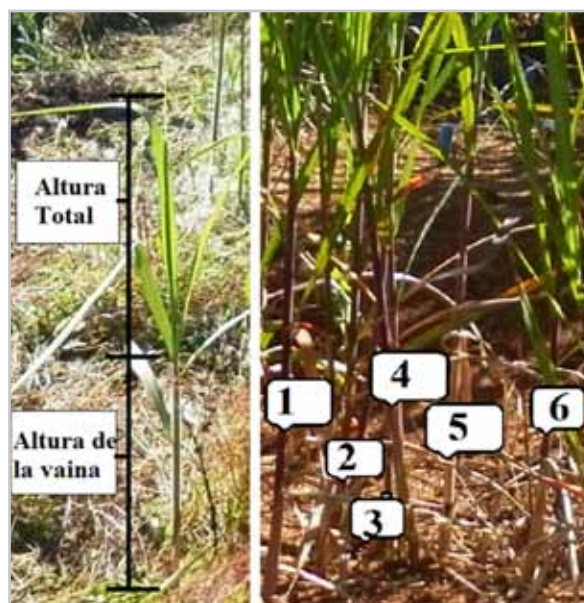


Figura 19. Mediciones de altura y número de brotes en ensayo de *Miscanthus*

Se determinó el poder calorífico en una bomba calorimétrica, modelo PARR 6400, obteniendo el poder calorífico superior a volumen constante de la muestra de ensayo en base húmeda (PCSv,b.h.), corregido a base seca (PCSv,b.s) con el valor de contenido de humedad de la muestra.

Las determinaciones del contenido de C, H, y N se realizaron siguiendo la norma experimental UNE CEN/TS 15104 EX (Diciembre 2008). El contenido en S se determinó siguiendo la norma experimental CEN/TS 15289 (Abril 2006).

Etanol

Se tomaron dos muestras de biomasa de tallo y hojas por unidad experimental, las cuales se secaron a temperatura ambiente, y luego se trituraron en un molino hasta obtener un polvo de partículas de 0,2 mm de diámetro. Se realizó la caracterización química de la biomasa, determinando contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina y grupos acetilo. A partir de la cantidad de azúcares se estimó el rendimiento teórico de etanol, a través del software Theoretical Etanol Yield Calculator del Laboratorio Nacional de Energías Renovables de Estados Unidos (NREL).



Pélets

Preparación de las muestras de ensayo

El análisis de pélets consistió en la evaluación de sus principales propiedades. Para esto, se tomó una muestra de biomasa de tallo y hojas de 2000 g, secada a temperatura ambiente, luego molida hasta obtener partículas de 2 mm de diámetro. Los pélets se construyeron usando una máquina peletizadora que presenta los siguientes parámetros: 6 mm de diámetro de la matriz, 40% de alimentación, 60°C temperatura de proceso y 40 amp de esfuerzo.

Propiedades de los pélets

A cada muestra se le realizaron pruebas de contenido de humedad (DIN 51718), largo, diámetro, densidad sólida (DIN 52182), densidad aparente (DIN 52182) y durabilidad (CEN/TS 15210-1). Los resultados obtenidos fueron comparados con las norma DIN plus, lo cual permite determinar la calidad del pélet.

Resultados



5. Resultados

5.1 Protocolos de propagación de material

Micropropagación a través del cultivo in vitro

(a) Material vegetal de partida. Se recolectaron en campo (18 septiembre y 1 octubre) tallos verdes de 1,5-2 m, de los que se obtuvo segmentos de tallo defoliados de 20-25 cm, con 2-4 nudos. Los segmentos fueron tratados en solución fungicida y puestos a brotar en cámara de cultivo (2000 lux, 20-27°C, 16 hr luz/día). Luego se mantuvieron entre 7 y 25 días sumergidos en agua del extremo basal, hasta obtener brotes axilares elongados (2-6 cm) o segmentos de tallo de 1 cm con una yema o brote axilar.

(b) Desinfección e introducción in vitro. Los explantos se desinfectaron superficialmente, lavados con agua destilada y luego colocados por 20 hr en una solución estéril de L-cisteína, para controlar la oxidación de los tejidos y del medio de cultivo. Tras la desinfección se introdujeron en tubos de ensayo de vidrio (25 mm diámetro, 20 cm largo) con medio Murashige Skoog (MS), sacarosa y hormonas como benciladenina (BA) y ácido indol-acético (AIA).

(c) Transferencias. Se realizaron transferencias a medio fresco en distintos períodos (4 días, 15 días, 30 días), para eliminar tejidos necrosados y el ennegrecimiento de los medios, determinándose que el subcultivo no debe realizarse más allá de 20 días. Los explantos se transfirieron a medio base + 2 mg L⁻¹ BA, en tubos de polipropileno con tapón roscado.

(d) Particularidades sobre el desarrollo de los explantos. En los primeros días se observó un desarrollo longitudinal importante a partir del meristemo principal de la yema axilar, sin desarrollo de nuevas yemas en la base del explanto, la cual comienza a producirse tras un segundo subcultivo. Al realizar la escisión de yemas axilares, se debe tomar al menos una pequeña porción del segmento de tallo; existe un riesgo elevado de dañar los puntos meristemáticos de la base del brote que serán responsables del posterior desarrollo de nuevos vástagos. Sin embargo, cuanto mayor es la fracción de segmento de tallo que se conserva en el explanto, mayor es el riesgo de que los cultivos presenten contaminación bacteriana de origen endógeno.

Este protocolo fue desarrollado, a solicitud del proyecto, por el Dr. Juan Luis Fernández del Laboratorio de Micropropagación de la Escuela Politécnica Superior de Lugo de la Universidad de Santiago de Compostela.

Macropropagación mediante cámaras de temperatura controlada

Se utilizaron rizomas de *Miscanthus x giganteus* clon Picoplant. Se prepararon dos cámaras (C1 y C2) con 2 temperaturas (T1: 25°C y T: 35°C). Las cámaras se dividieron en 6 cavidades para probar dos tipos de sustratos con 3 repeticiones de cada uno en cada cámara. Los sustratos que se utilizaron fueron: Sustrato 1 (50% arena + 50% ladrillo) y sustrato 2 (50% compost + 50% perlita). En cada sección se sembraron 4 rizomas de forma lineal a una distancia de entre 3 y 4 cm sobre una capa de sustrato de 7 cm y cubiertos con una capa de 5 cm de sustrato.

Se realizó conteo y medición de altura por brote. La altura fue medida sucesivamente durante 3 meses. Como resultado se determinó que la temperatura de 25°C y sustrato 50% compost + 50% perlita (S2), presentan brotes de mayor desarrollo (Figura 20).



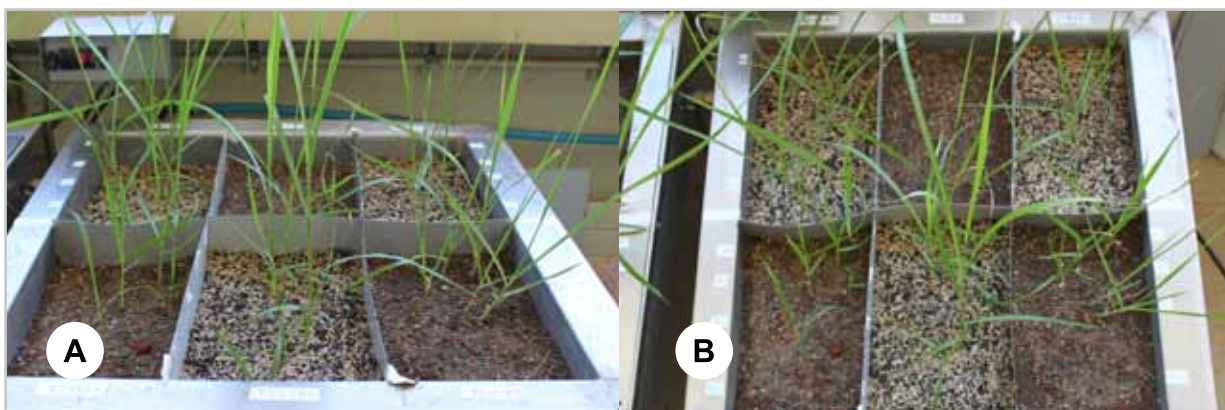


Figura 20. A) y B) Desarrollo de *Miscanthus x giganteus*, clon Picoplant, en cámara de temperatura controlada.

Selección del método de propagación

Ambos métodos de propagación dieron resultados exitosos, sin embargo es necesario tomar en cuenta ciertas ventajas y desventajas de cada método para tomar la decisión de cual utilizar.

PROTOCOLOS DE MULTIPLICACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Micropropagación	<ul style="list-style-type: none"> • Se mantiene el control del material genético, uniformidad en las características de las plantas. • Elevadas tasas de propagación, gran número de plantas en poco tiempo. • Mayor control de enfermedades, plantas libres de bacterias, hongos o virus. • Por realizarse en condiciones controladas, no existe influencia del clima o estación del año. • Se puede producir gran número de plantas en espacio reducido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy alto costo de producción, factible para grandes productores forestales. • Se requieren instalaciones especializadas (laboratorios). • La producción debe realizarla personal especializado.
Macropropagación	<ul style="list-style-type: none"> • No se requiere instalaciones y personal especializado (laboratorios). • Bajo costo. • Ideal para pequeños y medianos productores forestales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere mayor espacio para producir gran número de plantas. • Requiere más tiempo la propagación de plantas. • Propagación sujeta a condiciones de clima y estación del año. • Menor control de enfermedades en plantas.

5.2 Evaluación del crecimiento del cultivo

Mediciones de número de brotes

De los tres sitios, El Vergel presentó los mejores rendimientos en número de brotes (Tabla 6). El tratamiento T2 (El Vergel, 40.000 brotes/ha) presentó el mayor número de brotes (Figura 21). En las Figuras 22, 23, 24 y 25 se aprecia el desarrollo inicial de *Miscanthus*.



Tabla 6. Número de brotes de *Miscanthus x giganteus*, clon Picoplant, al primer y segundo periodo de crecimiento (2011-2012 y 2012-2013, respectivamente), para los tratamientos estudiados.

Sitio	Densidad brotes/ha	Código tratamiento	Periodo 2011-2012	Periodo 2012-2013
EL Vergel	20.000	T1	110.310	316.444
	40.000	T2	120.134	541.926
La Isla	20.000	T3	89.131	373.334
	40.000	T4	100.599	449.482
Trehualemu	20.000	T5	24.615	189.259
	40.000	T6	37.995	268.765

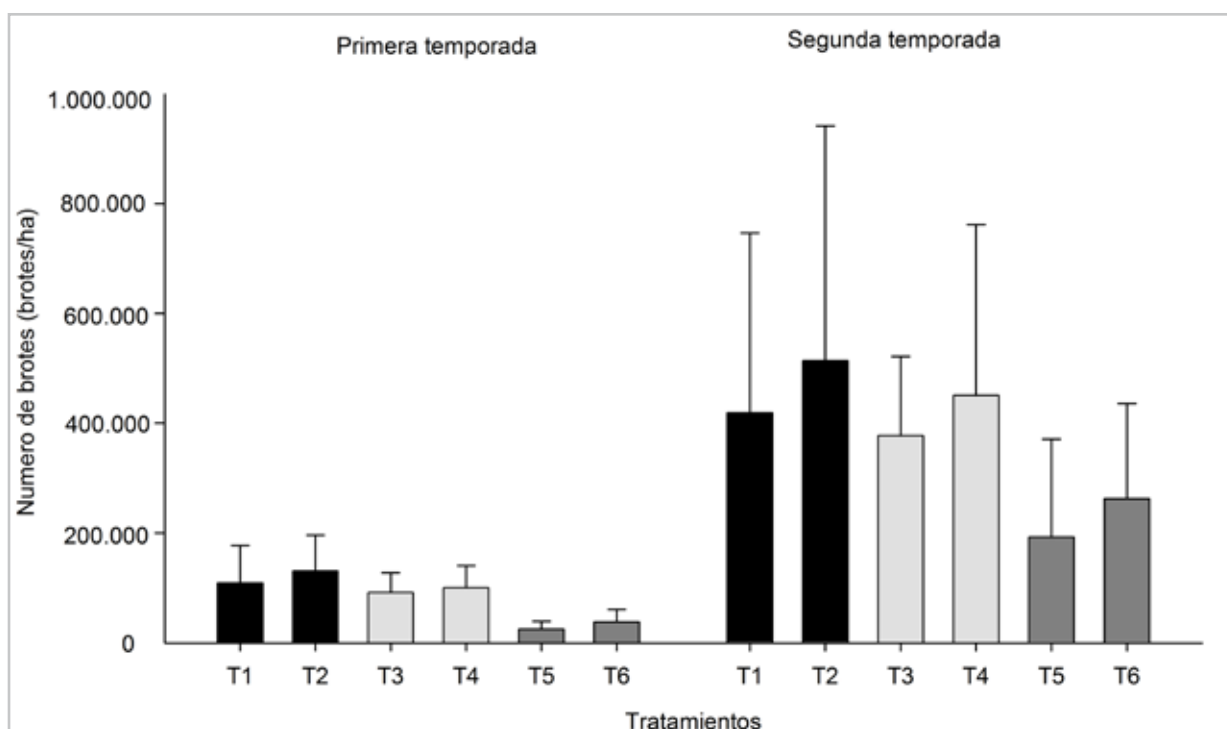


Figura 21. Número de brotes de *Miscanthus x giganteus* al primer y segundo periodo de crecimiento, según tratamiento y sitio (detalle de los tratamientos en Tabla 6). Barras indican desviación estándar. Modificado de González (2014).



Figura 22. Emergencia de *Miscanthus* al primer año de establecido en sitio Trehualem.



Figura 23. Emergencia de *Miscanthus* al primer año de establecido en sitio La Isla.



Figura 24. Emergencia de *Miscanthus* al primer año de establecido en sitio El Vergel.



Figura 25. Desarrollo del cultivo de *Miscanthus* a mitad de la temporada de crecimiento en sitio La Isla (A) y en El Vergel (B). Cada segmento de la vara graduada corresponde a 20 cm de longitud.

Mediciones de altura

El crecimiento en altura del cultivo fue mayor en el sitio El Vergel, tanto en el primer período (2011-2012) como en el segundo (2012-2013) (Tabla 7). Por otra parte, el tratamiento T2 (El Vergel, 40.000 brotes/ha) presentó la mayor altura total (Figura 26). En las Figuras 27 y 28 se aprecia el desarrollo en altura de *Miscanthus*.

Tabla 7. Altura total (cm) del cultivo de *Miscanthus x giganteus*, clon Picoplant, al primer y segundo periodo de crecimiento, para los tratamientos estudiados.

Sitio	Densidad brotes/ha	Código tratamiento	Periodo 2011-2012	Periodo 2012-2013
EL Vergel	20.000	T1	88,13	110,7
	40.000	T2	115,74	158,19
La Isla	20.000	T3	58,75	85,77
	40.000	T4	60,29	52,08
Trehualemú	20.000	T5	63,57	66,75
	40.000	T6	69,84	64,29

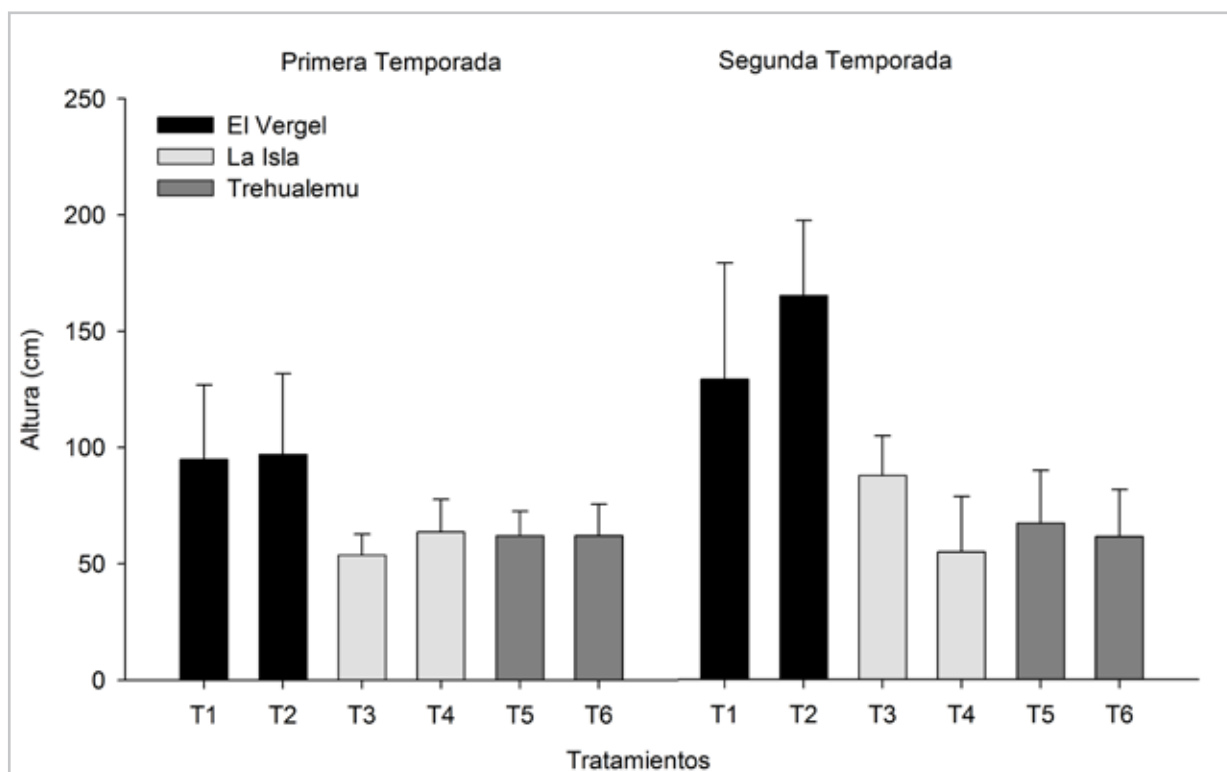


Figura 26. Altura total (cm) del cultivo de *Miscanthus x giganteus* al primer y segundo periodo de crecimiento, según tratamiento y sitio (detalle de los tratamientos en Tabla 7). Barras indican desviación estándar. Modificado de González (2014).



Figura 27. Crecimiento en altura al segundo año de crecimiento (A) y tercer año de crecimiento (B) en sitio El Verge.



Figura 28. Crecimiento en altura al segundo año de crecimiento en sitio La Isla.

5.3 Rendimiento de biomasa

El rendimiento de biomasa seca del cultivo fue mayor en el sitio El Vergel, tanto en el primer período (2011-2012) como en el segundo (2012-2013) (Tabla 8). El tratamiento T2 (El Vergel, 40.000 brotes/ha) presentó la mayor cantidad de biomasa (9.013,8 kg/ha) (Figura 29). En la Figura 30 se aprecia el pesaje y almacenaje de las muestras de *Miscanthus*.

Tabla 8. Biomasa seca (kg/ha) del cultivo de *Miscanthus x giganteus* al primer y segundo periodo de crecimiento (2011-2012 y 2012-2013, respectivamente), para los tratamientos estudiados.

Sitio	Densidad brotes/ha	Código tratamiento	Periodo 2011-2012	Periodo 2012-2013
EL Vergel	20.000	T1	204,36	6.559,6
	40.000	T2	368,52	9.013,8
La Isla	20.000	T3	122,26	2.039,6
	40.000	T4	136,05	2.468,5
Trehualemú	20.000	T5	31,21	1.133,3
	40.000	T6	51,53	2.041,7

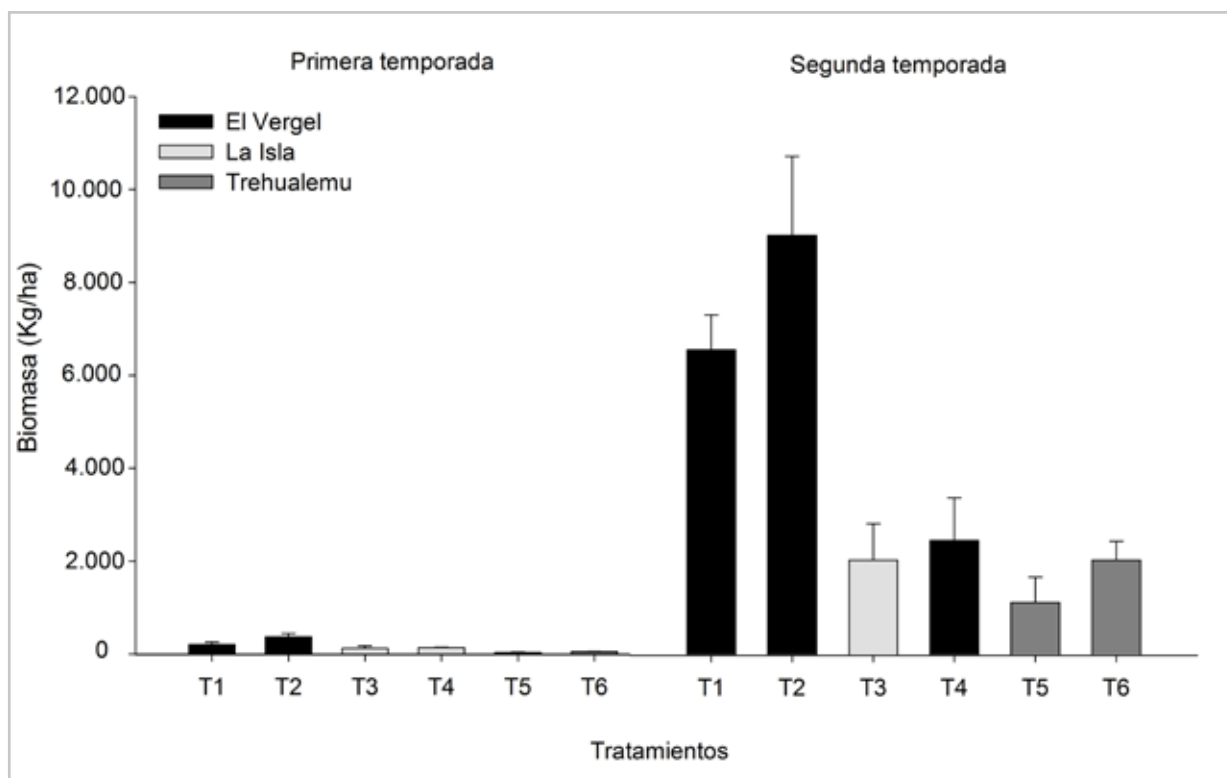


Figura 29. Biomasa seca (kg/ha) del cultivo de *Miscanthus x giganteus* al primer y segundo periodo de crecimiento, según tratamiento y sitio (detalle de los tratamientos en Tabla 8). Barras indican desviación estándar. Modificado de González (2014).

5.4 Caracterización energética

En la Tabla 9 y Figuras 31, 32 y 33 se presentan los parámetros calorimétricos del cultivo de *Miscanthus*. La categoría mezcla (MZ) corresponde a material homogenizado (en tamaño y cantidad) de las dos densidades estudiadas (20.000 y 40.000 brotes/ha). En las Figuras 34 y 35 se aprecian la bomba calorimétrica y pélet para determinación del poder calorífico de *Miscanthus*.



Figura 30. Pesaje de *Miscanthus* (A) y almacenamiento de muestras recolectadas (B)

Tabla 9. Parámetros calorimétricos del cultivo de *Miscanthus x giganteus* segundo periodo de crecimiento (2012-2013), para los tratamientos estudiados.

Sitio	Densidad brotes/ha	Código Tratamiento	Contenido humedad %	Cenizas %	Poder calorífico superior kcal/kg
EL Vergel	20.000	T1	6,14	3,80	4.216,0
	40.000	T2	6,22	4,64	4.258,1
	MEZCLA	Mz1	8,86	4,29	4.234,5
La Isla	20.000	T3	5,40	5,40	4.087,4
	40.000	T4	5,66	7,40	4.333,1
	MEZCLA	Mz2	7,19	7,64	4.162,8
Trehualemú	20.000	T5	4,69	8,70	3.973,3
	40.000	T6	4,82	9,60	4.076,3
	MEZCLA	Mz3	6,94	10,16	3.967,3

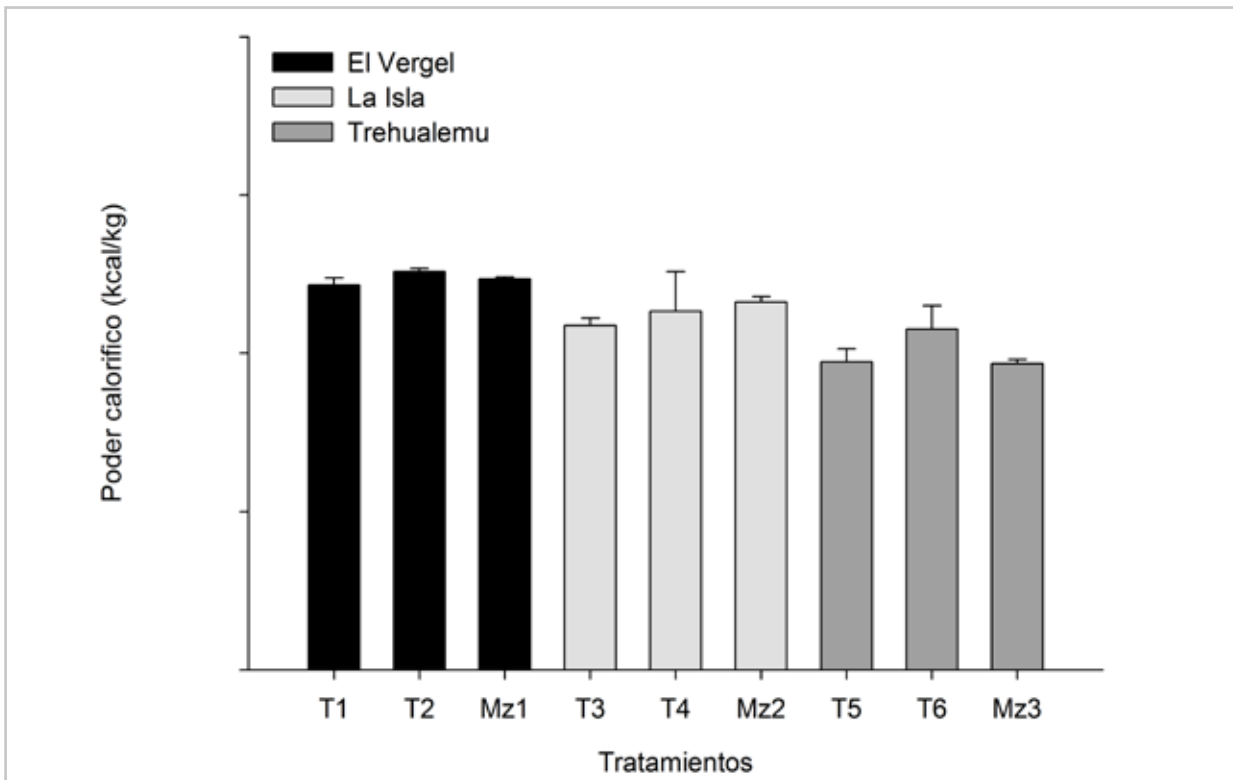


Figura 31. Poder calorífico (kcal/kg) del cultivo de *Miscanthus x giganteus* al segundo periodo de crecimiento, según tratamiento y sitio (detalle de los tratamientos en Tabla 9). Barras indican desviación estándar.

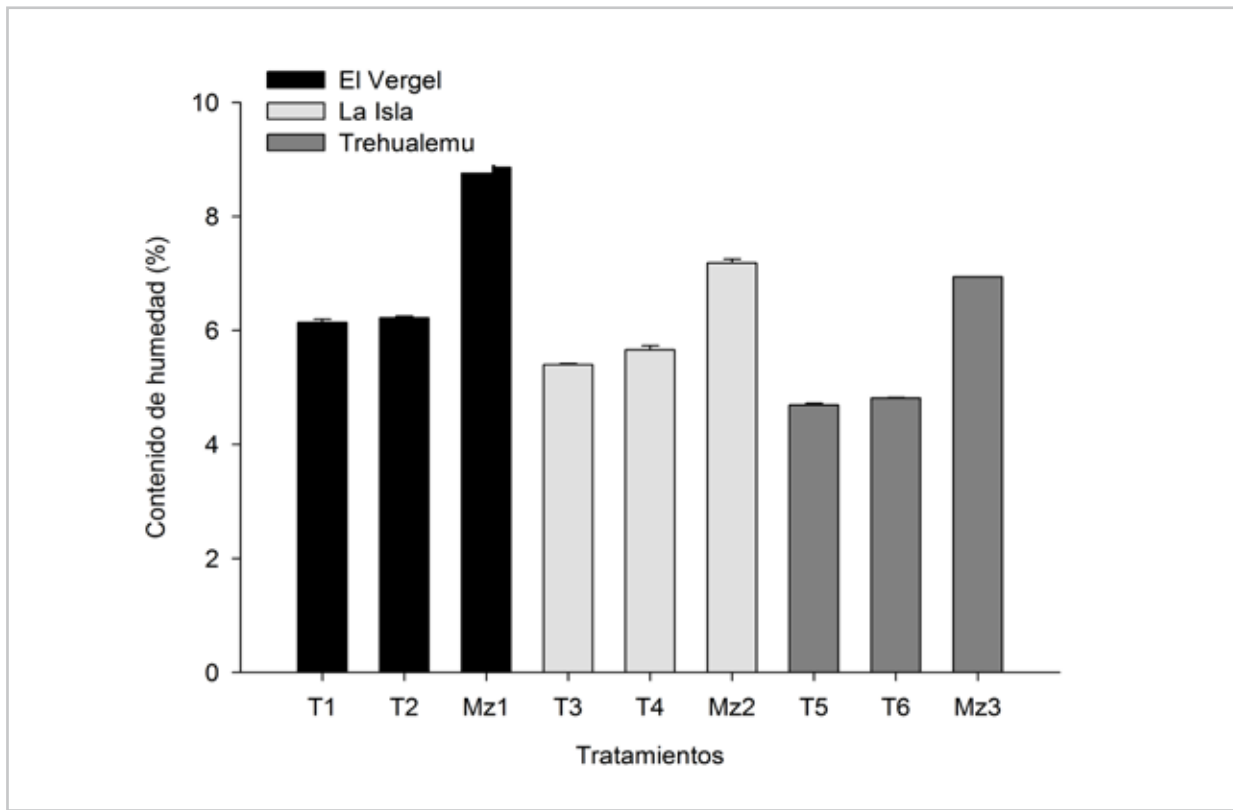


Figura 32. Contenido de humedad (%) del cultivo de *Miscanthus x giganteus* al segundo periodo de crecimiento, según tratamiento y sitio (detalle de los tratamientos en Tabla 9). Barras indican desviación estándar.

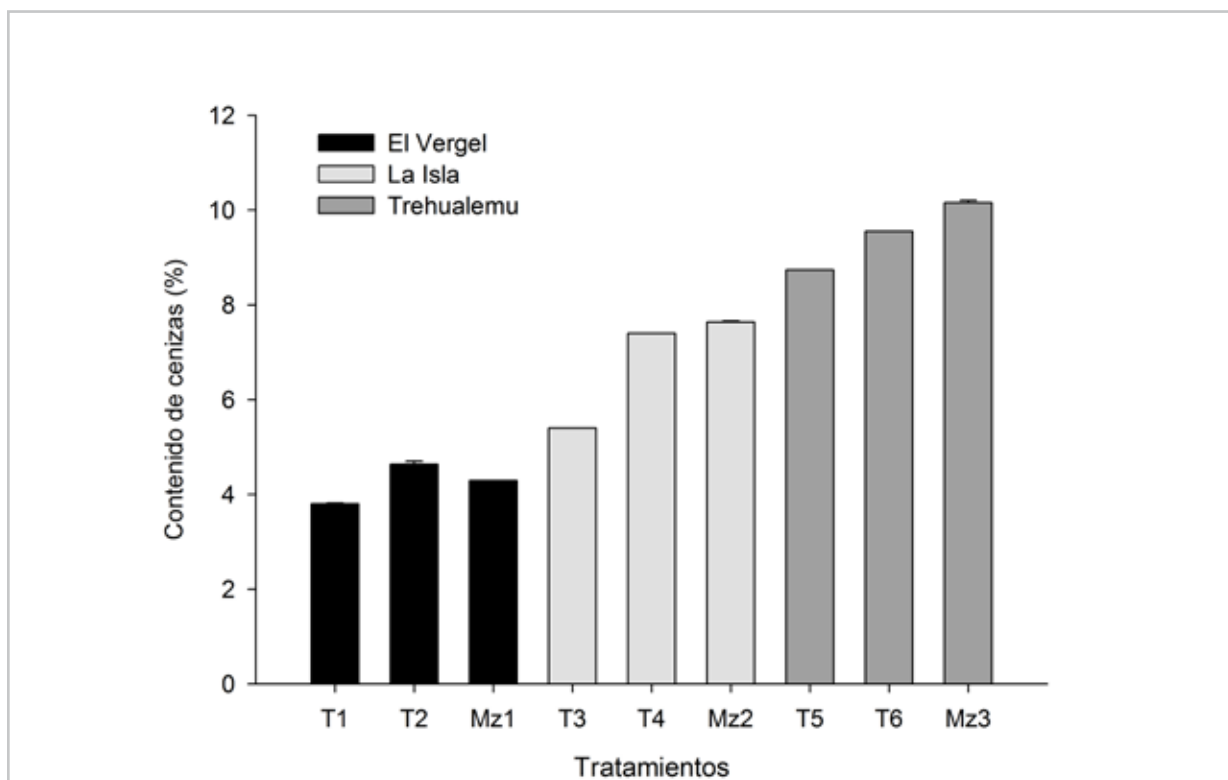


Figura 33. Contenido de cenizas (%) del cultivo de *Miscanthus x giganteus* al segundo periodo de crecimiento, según tratamiento y sitio (detalle de los tratamientos en Tabla 9). Barras indican desviación estándar.



Figura 34. Bomba calorimétrica, modelo PARR 6400, utilizada para la determinación de poder calorífico.



Figura 35. Pélet para determinación de calorimetría (A) y frasco con material de *Miscanthus* para la formación de pélet (B)

Resultado del análisis elemental de la biomasa de *Miscanthus*

El resultado de análisis elemental de biomasa de *Miscanthus* obtenida en sitio El Vergel en el segundo periodo de crecimiento (2012-2013), se presenta en la Tabla 10. Se utilizó como material base mezcla de biomasa de las densidades 20.000 y 40.000 brotes/ha.

Tabla 10. Análisis elemental de la biomasa de *Miscanthus x giganteus*. DS: Desviación estándar.

Sitio	Análisis	Resultado % p/p ± %DS
EL Vergel	Carbono	41,7 ± 3,6
	Hidrógeno	6,9 ± 3,1
	Nitrógeno	23,2 ± 3,7
	Azufre	< 2
La Isla	Carbono	42,9 ± 0,3
	Hidrógeno	6,6 ± 0,1
	Nitrógeno	9,1 ± 0,9
	Azufre	< 2
Trehualemú	Carbono	41,1 ± 1,0
	Hidrógeno	6,4 ± 0,2
	Nitrógeno	10,8 ± 6,7
	Azufre	< 2

Resultado del análisis de la composición química de la biomasa de *Miscanthus x giganteus*.

El resultado del análisis de la composición química de la mezcla de biomasa de las dos densidades de *Miscanthus x giganteus*, obtenida en los diferentes sitios ensayados, se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11. Composición de la biomasa de *Miscanthus x giganteus* en base a peso seco.

Sitio	Celulosa %	Hemicelulosa %	Lignina %	Grupos acetilo %	Otros %
El Vergel	38,1	24,2	26,7	2,4	8,6
La Isla	33,8	22,8	26,6	2,0	14,8
Trehualemu	36,0	19,9	27,3	2,6	14,2

5.5 Determinación de etanol

El resultado de la determinación de etanol de biomasa de *Miscanthus* obtenida en sitio El Vergel en el segundo periodo de crecimiento (2012-2013), se presenta en la Tabla 12 y Figura 36. Se utilizó como material base mezcla de biomasa de las densidades 20.000 y 40.000 brotes/ha.

Tabla 12. Estimación del contenido de etanol (l/t) de *Miscanthus x giganteus* a partir de la determinación de carbohidratos por hidrólisis ácida, considerando el 90 y 100% de rendimiento.

Sitio	Hexosas %	Pentosas %	Etanol (hexosas + pentosas)		Etanol (hexosas)	
			l/t (90%)	l/t (100%)	l/t (90%)	l/t (100%)
El Vergel	38,1	21,9	356,7	396,4	224,6	249,6
La Isla	33,8	20,6	323,5	359,5	199,2	221,4
Trehualemu	36,0	19,9	332,3	369,2	212,2	235,8

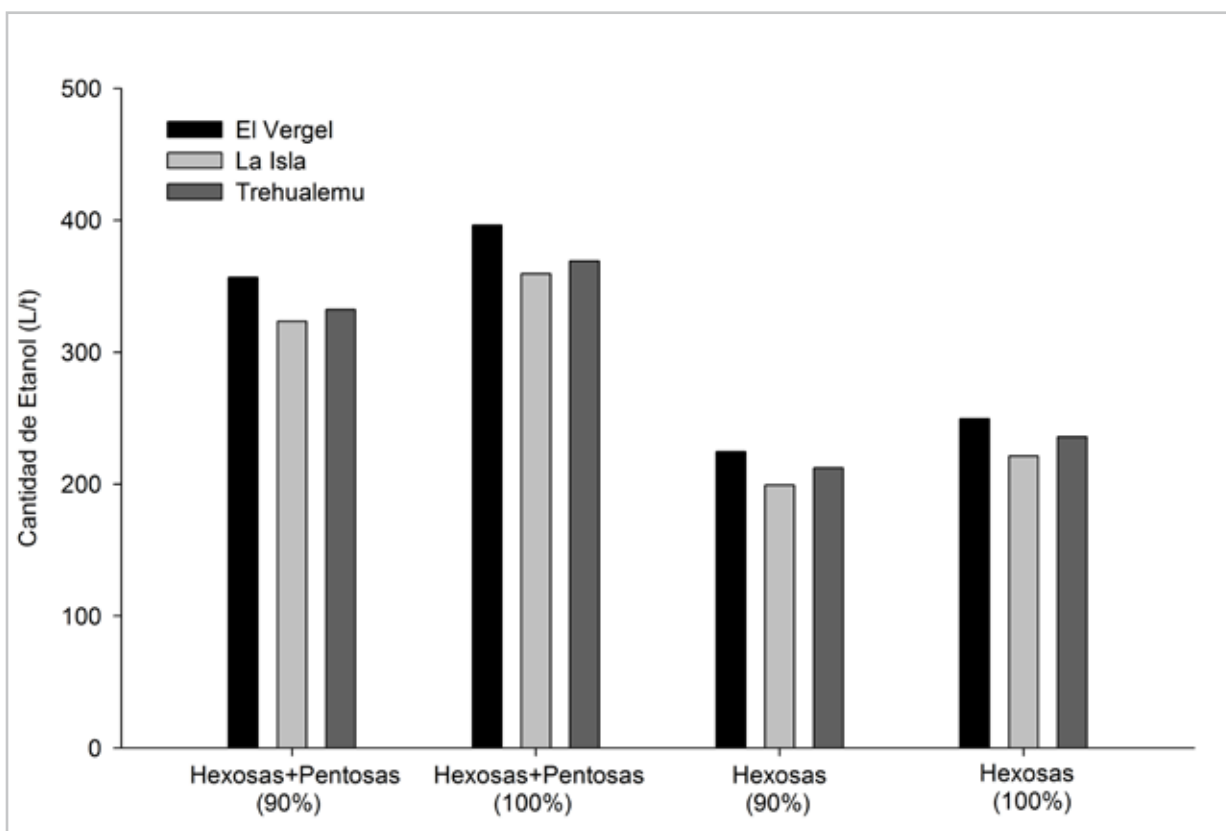


Figura 36. Estimación del contenido de etanol (l/t) de *Miscanthus x giganteus*, considerando el 90 y 100% de rendimiento, a partir de la determinación de carbohidratos por el método de hidrólisis ácida.

5.6 Pélets

Las propiedades del pélet elaborado con biomasa de *Miscanthus* obtenida en sitio El Vergel en el segundo periodo de crecimiento (2012-2013), se presenta en la Tabla 13. Se incluye mezcla de biomasa de las densidades 20.000 y 40.000 brotes/ha, utilizando aserrín como aglomerante en proporción del 40% (Mezcla-40) y 50% (Mezcla-50). En las Figuras 37 y 38 se observa la maquinaria utilizada para el proceso de peletización y los pélets obtenidos.

Tabla 13. Propiedades de pélet de biomasa de *Miscanthus x giganteus*.

Densidad brotes/ha	C.H. %	Largo mm	Diámetro mm	Densidad sólida gr/cc	Densidad aparente t/m ³	Durabilidad %
20.000	12,2	14,0	6,47	0,87		13,73
40.000	12,8	11,9	6,65	0,73		11,30
Mezcla-40	12,2	22,8	6,14	1,17	0,517	10,26
Mezcla-50	11,6	16,9	6,28	1,09	0,616	9,79
Norma pélet DIN Plus	≤ 10	≤ 5 * d	4 ≤ d < 10	≥ 1,12		≤ 2,6



Figura 37. Máquina de molienda (A) y máquina peletizadora (B) (Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT) de la Universidad de Concepción).



Figura 38. Material de *Miscanthus* previo a la molienda (A) y pélets de *Miscanthus* (B).

Conclusiones



6. Conclusiones

El resultado del establecimiento de cultivos den-droenergéticos con *Miscanthus x giganteus* en tres sitios contrastantes de la zona centro sur de Chile señala que la especie presenta gran variación de rendimiento en biomasa. En sectores costeros, de suelos de textura franco-arcillosa-limosa con capacidad de retención de humedad, se obtuvo los mejores rendimientos y éstos se encuentran en línea con lo reportado por la literatura. De igual manera, los parámetros calorimétricos y obtención de etanol son similares a los obtenidos en otros estudios.

El análisis de los pélets elaborados con la biomasa del cultivo determinó que su calidad es menor a la esperada, por debajo de las normas de calidad para este tipo de producto. Se puede mejorar su calidad con la adición de aglomerantes.

Durante el desarrollo del proyecto de investigación, se logró la importación y multiplicación de material genético, conocer y aplicar técnicas de establecimiento. Por otra parte, no se detectó la presencia de agentes sanitarios que puedan afectar a los cultivos. Finalmente, con la información de los sitios ensayados, es posible seleccionar terrenos para establecer cultivos y obtener buenos rendimientos de biomasa para su uso en la generación de energía.

Bibliografía



7. Bibliografía

- Beccari G., Covarelli L., Balmas V. and Tosi L. 2010. First report of *Miscanthus x giganteus* rhizome rot caused by *Fusarium avenaceum*, *Fusarium oxysporum* and *Mucor hiemalis*. Australasian Plant Disease Notes 5: 28–29
- CALU. 2005. An Introduction to *Miscanthus*. Calu technical notes, Centre for Alternative Land Use (CALU). Bangor University, Abergwyngregyn, UK. 2 p.
- Carrasco P. y Millán J. 1990. Proyecto de suelos forestales de la VIII Región. Informe final. Chillán, Chile. Universidad de Concepción, Depto. de Cs. Forestales/Min. de Agricultura. 152 p.
- CIREN, 1999. Estudio Agrológico VIII Región: Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Instituto de Investigación de Recursos Naturales. Publicación No 121.
- Del Pozo y Del Canto, 1999. Áreas agroclimáticas y sistemas productivos en la VII y VIII regiones. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro de Regional de Investigación Quilamapu, Chillán. Ministerio de Agricultura, Chile. 115 p.
- El-Bassam N. 1996. Renewable energy, potencial energy crops for Europe and the Mediterranean Region. FAO Regional Office for Europe. REU technical series 46, 200 p.
- González O. 2014. Evaluación de crecimiento y rendimiento en biomasa de *Miscanthus x giganteus* en sus primeros años de desarrollo. Memoria de Título para obtener el título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Chile.
- Heaton E.A., Dohleman F.G. and Long S.P. 2008. Meeting US biofuel goals with less land: the potential of *Miscanthus*. Glob Change Biol. 14: 2000–2014.
- Hodkinson T., Chase M., Lledó M.D. and Salamón N., Renvoize S. 2002. Phylogenetics of *Miscanthus*, *Saccharum* and related genera (Saccharinae, Andropogoneae, Poaceae) based on DNA sequences from ITS nuclear ribosomal DNA and plastid trnL intron and trnL-F intergenic spacers. J. Plant. Res. 115: 381–392.
- Lewandowski I. and Kahnt G. 1993. Development of a tissue culture system with unemerged inflorescences of *Miscanthus giganteus* for the induction and regeneration of somatic embryoids. Beitrage zur Biologie der Pflanzen 67: 439–451.
- Lewandowski I., Clifton-Brown J.C., Scurlock J.M.O. and Huisman W. 2000. *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. Biomass and Bioenergy 19: 209–227.
- McKervey Z., Woods V. and Easson D. 2008. *Miscanthus* as an energy crop and its potential for Northern Ireland. Occasional publication No. 8. AFBI Hillsborough, Northern Ireland. 72 p.
- Plažek A. and Dubert F. 2010. Improvement of medium for *Miscanthus x giganteus*. callus induction and plant regeneration. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica 52 (1): 105–110.
- Pyter R., Voigt T., Heaton E., Dohleman F. and Long S. 2007 Growing giant *Miscanthus* in Illinois. University of Illinois, USA. Disponible en: <http://www.miscanthus.uiuc.edu/wp-content/uploads/growersguide.pdf>
- Santis, G. 2005. Mapa de reconocimiento de suelos de la región de Biobío (Sector Norte). Memoria de Título, Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad de Chile. Santiago – Chile.
- Scally L., Hodkinson T. and Jones M.B. 2007. Origins and taxonomy of *Miscanthus*. In: Jones M., Ealsh M. (Eds.). *Miscanthus* for energy and fibre. Earthscan, London, UK. 1-9 pp.
- Smith J. 2009. Antecedentes *Miscanthus*. Documento Técnico N° Doc IIR-BC-INF-12-09. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina. 6 p.
- Tigo, 2011. Datos meteorológicos. Observatorio Geodésico Integrado Transportable. Universidad de Concepción - Bundesamt für Kartographie und Geodäsie - Instituto Geográfico Militar (Chile). Disponible en: http://www.tigo.cl/index.php?option=com_tigometeo&Itemid=195&lang=es
- Teagasc and AFBI. 2010. *Miscanthus* best practice guidelines. In: Caslin B., Finnan J., McCracken (Eds.). Teagasc (Ireland) and Afbi (Agri-Food and Bioscience Institute, Northern Ireland), Newforge Lane, Belfast. UK. 46 p.
- Visser P. and Pignatelli V. 2001. Utilisation of *Miscanthus*. In: Jones M.B, Walsh M. (Eds.) *Miscanthus* for energy and fibre. Earthscan, London, UK. Pags. 109-154.

Anexo Fotográfico



Importación de rizomas



Cultivos en cámara



Monumentación parcelas



Mediciones al cultivo



Cosecha rizomas / Molienda



Cultivo hongos



Presentaciones de resultados



