

Efecto de herbicidas preemergentes sobre la siembra directa de semillas pregerminadas de *Gmelina arborea* Roxb. y *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas

Effect of pre-emergent herbicides on the direct sowing of pregerminated seeds of *Gmelina arborea* Roxb. and *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. for establishment of dendroenergetic plantations

Natalia Hernández¹ • Dagoberto Arias²  • Franklin Herrera³ • Elemer Briceño² • Mario Guevara² • Edwin Esquivel²

Abstract

This study addresses the need to find preemergence herbicides for the direct sowing of forest species seeds dedicated to the establishment of energy plantations. Twelve different preemergence herbicides were evaluated on the direct sowing of two forest species with great potential for biomass production for bioenergy. One of the limiting aspects of dendroenergetic plantations is the high establishment cost by concept of plant acquisition, so a search was conducted for the best options for direct sowing of pregerminated seeds of *Gmelina arborea* (Melina) and *Gliricidia sepium* (Black Madero), and to offer an alternative in lowering costs. The experiment was carried out in a greenhouse (ITCR, Cartago), for 10 weeks, analyzing each species separately. A randomized complete block experimental design was used. The seeds were subjected to the best pre-germination treatment and sown in pots, they were immediately atomized by the different pre-emergent herbicides following the protocol described in the methodology. At the end of the experiment it was determined that pre-emergent herbicides with Linuron and Oxyfluorfen as their active ingredient can be used in the direct sowing of melina, as they did not cause damage to plant performance, in addition to obtaining most of the parameters with statistically superior results. In the case of black Madero the pre-emergent Linuron obtained the best results, concluding that it can be useful for its use in direct sowing. The pre-emergent herbicide with Pendimethalin as its active ingredient obtained the lowest performance results in almost all of the analyzed parameters; for both species it produced the total death of weeds before week 7.

Key words: Dendroenergy, plantation establishment, herb control, agrochemicals, Costa Rica.

1. Consultora Independiente; Heredia, Costa Rica; natalia22hrz@gmail.com

2. Escuela de Ingeniería Forestal, Tecnológico de Costa Rica; Cartago, Costa Rica; darias@tec.ac.cr; ebriceno@tec.ac.cr; maguevara@tec.ac.cr; eesquivel@tec.ac.cr

3. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit, Universidad de Costa Rica; Alajuela, Costa Rica; franklin.herrera@ucr.ac.cr

Recibido: 19/07/2017

Aceptado: 30/06/2018

Publicado: 19/09/2018

DOI: 10.18845/rfmk.v15i1.3729

Resumen

Este estudio atiende la necesidad de encontrar herbicidas preemergentes para la siembra directa de semillas de especies forestales dedicadas para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas. Se evaluaron 12 diferentes herbicidas pre-emergentes sobre la siembra directa de dos especies forestales con gran potencial para la producción de biomasa para bioenergía. Uno de los aspectos limitantes de las plantaciones dendroenergéticas es el alto costo de establecimiento por concepto de adquisición de plantas, por lo que se buscaron las mejores opciones para la siembra directa de semillas pregerminadas de *Gmelina arborea* (melina) y *Gliricidia sepium* (madero negro), y ofrecer una alternativa en la disminución de los costos. El experimento se realizó en un invernadero (ITCR, Cartago), durante 10 semanas, analizando cada especie por separado. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar. Las semillas fueron sometidas al mejor tratamiento pre germinativo y sembradas en macetas, inmediatamente fueron atomizadas por los diferentes herbicidas preemergentes siguiendo el protocolo descrito en la metodología. Al final del experimento se determinó que los herbicidas preemergentes con el ingrediente activo de Linuron y Oxifluorfen pueden ser utilizados en la siembra directa de melina, ya que no causaron daño en el rendimiento de las plantas, además de obtener la mayoría de los parámetros con resultados estadísticamente superiores. En el caso de madero negro el pre emergente Linuron obtuvo los mejores resultados, concluyendo que puede ser útil para usarse en la siembra directa. El herbicida pre emergente con el ingrediente activo de Pendimetalina obtuvo los menores resultados de rendimiento en casi todos los parámetros analizados; para ambas especies produjo la muerte total de las arvenses antes de la semana 7.

Palabras clave: dendroenergía, establecimiento de plantaciones, control de hierbas, agroquímicos, Costa Rica.

Introducción

Actualmente, existe una marcada tendencia hacia la producción de energía de fuentes renovables; siendo una de ellas la biomasa forestal que ofrece la ventaja adicional de un camino hacia una economía baja en carbono. Las plantaciones para fines bioenergéticos son un excelente modelo para contribuir a la reducción de emisiones producto de la dependencia de combustibles fósiles. Los países desarrollados como Estados Unidos, Suecia, Italia, Holanda y España entre otros están desarrollando plantaciones específicamente concebidas para la producción de biomasa con altas tasas de

acumulación anual y períodos cortos de rotación. Esto se logra en plantaciones de alta densidad, usando genotipos mejorados y una alta intensidad en las actividades silviculturales (Baetting et al., 2010).

Estas plantaciones al ser sembradas a altas densidades tienen un costo inicial más alto en el establecimiento por hectárea; por ejemplo, en Chile se establecieron plantaciones a 5 000, 7 500 y 10 000 plantas por hectárea (Esquivelet al., 2013). En Costa Rica no se han desarrollado plantaciones con estos propósitos; sin embargo, a nivel de investigación y desarrollo, el TEC viene estudiando desde el 2013 un nuevo concepto denominado “*Dendroenergía: plantaciones forestales hacia la producción de biomasa para múltiples propósitos*”. Una alternativa para disminuir los costos de establecimiento es realizar la siembra directa, simulando el proceso natural que se lleva a cabo en los bosques (Willoughby et al., 2003), pero en el manejo de las plantaciones forestales, el control de las arvenses es una actividad de gran importancia para el éxito de una plantación. Desde el establecimiento hasta el cierre de las copas de los árboles, la presencia de malezas puede causar serios retrasos en el crecimiento hasta la pérdida total de las plantas (Estrada, 2001). Una forma de control efectiva en las primeras etapas de cualquier cultivo es el uso de herbicidas principalmente los preemergentes, este tipo de herbicidas elimina las hierbas indeseables inhibiendo su germinación o eliminando las recién emergidas, lo que evita la competencia temprana con el cultivo de interés. Por lo general, la semilla de los cultivos se coloca por debajo de la zona de suelo con alta concentración de herbicida y la selectividad del herbicida al cultivo puede ser tanto posicional como fisiológica (Macías, 2012). Un control de las malezas eficaz se traduce en la eliminación de la vegetación competidora, sin daño químico y fisiológico a la plantación (ARAUCO, 2012).

Existe poca información sobre el uso de herbicidas pre emergente en plantaciones forestales. De las especies más utilizadas en reforestación, son los eucaliptos en los que más se han usado herbicidas, donde los ingredientes activos como el oxifluorfen 4-2 lb/gal, la pendimetalina 3-4 lb/gal, la simazina 4 lb/gal, el sulfuron-metil al 75 % y la flumioxacina 51 %, han dado buenos resultados (Minogue et al., 2013).

Sin embargo, se conoce poco de herbicidas preemergentes que puedan ser utilizados para el control de malezas en especies forestales como la melina y madero negro, que son de las especies de interés para plantaciones dendroenergéticas en Costa Rica. Por tal motivo en este trabajo se seleccionaron herbicidas preemergentes comercializados en el país para obtener información sobre los efectos que puedan causar en el desarrollo de las plantas durante las primeras semanas

de vida para las especies seleccionadas.

El objetivo de esta investigación consistió en evaluar el efecto de herbicidas preemergentes en la siembra directa de semilla pre germinada de *Gmelina arborea* y *Gliricidia sepium*, especies de gran interés dendroenergético, con el fin de determinar si se pueden utilizar en la siembra directa de estas bajo esquemas de altas densidades de siembra, para disminuir los costos iniciales.

Materiales y métodos

Condiciones generales del estudio

El experimento se realizó bajo condiciones controladas en un invernadero ubicado en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Cartago (09°51'31" N, 83°54'31" O), a una altitud de 1 360 m, temperatura mínima 14,2 °C y máxima de 25,1 °C, con una precipitación promedio de 166,48 mm durante el periodo setiembre-diciembre (Instituto Meteorológico Nacional, 2009). Los tratamientos consistieron en una selección de herbicidas preemergentes disponibles en el mercado y comúnmente utilizados para el control de arvenses en cultivos agrícolas. Para evaluar el efecto de los tratamientos se utilizaron recipientes de aproximadamente de 76 607 cm³ con un sustrato de suelo uniforme. En cada contenedor se colocaron las semillas pregerminadas y a la totalidad de los contenedores que forman parte del experimento se les aplicaron los tratamientos. El invernadero dispone de un sistema de riego controlado

y automático que permitió que los contenedores recibieran cuatro tiempos de riego al día con la cantidad necesaria para mantener la humedad del sustrato en condición óptima para completar la germinación de las semillas. Durante el tiempo del experimento dentro del invernadero se registraron temperaturas mínimas de 18,2 °C y máximas de 38,3 °C. El experimento se realizó para las dos especies forestales de interés con registros de información durante 10 semanas.

Establecimiento del experimento

El diseño empleado para cada especie fue de bloques completos al azar para mantener un mayor control experimental de los posibles efectos de algún gradiente de luminosidad. Este diseño permite mejor control del error experimental. Se establecieron cuatro bloques por especie. Para cada especie se establecieron 13 tratamientos distribuidos aleatoriamente en los 4 bloques. La unidad de evaluación consiste en un contenedor con un sustrato uniforme y del mismo volumen, en donde se colocaron 7 semillas debidamente pregerminadas. El tratamiento pregerminativo fue el recomendado por el CATIE para cada especie y está basado en sumergir las semillas por algún tiempo en agua. Según lo anterior cada tratamiento consistió en cuatro contenedores, cada uno establecido al azar en un diferente bloque.

Tratamiento de la semilla

Las semillas utilizadas provienen del Banco de Semillas Forestales del CATIE. Las semillas de *G. sepium* se sumergieron en agua por 48 horas con 2 g de Vitavax y posteriormente se sembraron. En el caso de *G. arborea*

Cuadro 1. Información de los tratamientos aplicados a las semillas de *G. arborea*.

Table 1. Information of applied treatments to seeds of *G. arborea*.

No.	Tratamiento	Nombre comercial	Dosis por litro	Modo de acción
1	Atrazina	Gesaprin 90 wg	6,72 g	Inhibidores de fotosistema II
2	Ametrina	Ametrex 80 wg	5,0 g	Inhibidores de fotosistema II
3	Butaclor	Machete 80 ec	13,3 ml	Inhibidores de la división celular
4	Linuron	Linurex 50 wp	12,0 g	Inhibidores de fotosistema II
5	Metsulfuron	Purestand 60 wg	0,1 g	Inhibidores de la acetolactato sintetasa
6	Oxifluorfen	Goal 24 ec	12,0 ml	Inhibidores el PPO
7	Pendimetalina	Prowl 50 ec	12,0 ml	Inhibidores de la organización de los microtúbulos
8	Diuron	Diurex 50 sc	8,0 ml	Inhibidores de fotosistema II
9	Tiobencarbo	Bolero 96 ec	16,7 ml	Inhibidores de la síntesis de lípidos
10	Oxadiargil	Raft 40 sc	1,0 ml	Inhibidores el PPO
11	Halasulfuron Metil	Sempre 75 wg	0,53 g	Inhibidores de la acetolactato sintetasa
12	Oxadiazon	Ronstar 38 sc	10,52 ml	Inhibidores el PPO
13	Testigo	-	-	-

Cuadro 2. Escala de puntuación de EWRS para evaluar fitotoxicidad de herbicidas

Table 2. EWRS scoring scale to evaluate phytotoxicity of herbicides.

Valor	Efecto sobre el cultivo	Porcentaje de fitotoxicidad al cultivo
1	Sin efecto	0,0-1,0
2	Síntomas muy ligeros	1,0-3,5
3	Síntomas ligeros	3,5-7,0
4	Síntomas que no se reflejan en el rendimiento	7,0-12,5
5	Daño medio	12,5-20,0
6	Daños elevados	20,0-30,0
7	Daños muy elevados	30,0-50,0
8	Daños severos	50,0-99,0
9	Muerte completa	99,0-100,0

se realizó un proceso intercalado de 12 horas en agua corriendo con 12 horas de exposición al aire y sol por tres días, posterior a esto se pusieron en agua durante dos días también con Vitavax. Las semillas se sembraron a un cm de profundidad con un trozo de madera como guía.

Aplicación de los herbicidas premergentes

Se prepararon los herbicidas según la dosis comercial recomendada por el fabricante (cuadro 1). Para aplicar los herbicidas premergentes se utilizó una bomba de espalda, con una boquilla 8002 anti deriva, regulador de presión a 2 bares/cm². Se preparó un 1 l por herbicida premergente para aplicar cada tratamiento.

Cuadro 3. Germinación y mortalidad de los tratamientos de las plantas de *G. arborea*.

Table 3. Germination and mortality of the treatments of *G. arborea* plants.

Tratamiento	Porcentaje de Germinación (%)	Desviación estándar	Sobrevivencia final (%)	Desviación estándar
Atrazina	65	0,19	60	0,16
Ametrina	90	0,12	90	0,12
Butaclor	70	0,20	70	0,20
Linuron	100	0,00	100	0,00
Metsulfuron	100	0,00	100	0,00
Oxifluorfen	100	0,00	100	0,00
Pendimetalina	90	0,12	75	0,10
Diuron	100	0,00	100	0,00
Tiobencarbo	70	0,20	70	0,70
Oxadiargil	95	0,10	95	0,10
Halasulfuron Metil	85	0,10	75	0,19
Oxadiazon	80	0,16	75	0,19
Testigo	100	0,00	10	0,00

Los contenedores pertenecientes a un tratamiento se acomodaron juntos para efectos de la aplicación y luego se reordenaron al azar según el diseño al interior del invernadero. Para realizar las aplicaciones, los cálculos se realizaron para un área con las dimensiones de 0,60 m de ancho por 5 m de largo, en esa área se acomodaron las macetas para la aplicación de los productos. La calibración general consideró aplicaciones de 250 l de agua por hectárea. A continuación, se describen los tratamientos del experimento, con el nombre del producto aplicado, la dosis preparada y el modo de acción de cada producto.

Variables

Se monitoreó la germinación y sobrevivencia de ambas especies. El monitoreo comenzó a partir de la semana 4 en el caso de *Gliricidia sepium* y semana 5 en el caso de *Gmelina arborea* hasta finalizar el experimento en campo. Semanalmente se midió el diámetro a la base con un calibrador en mm y la altura con una cinta métrica.

Además, se realizó una valoración de la fitotoxicidad (cuadro 2), por medio de una evaluación visual, siguiendo el cuadro de [Champion citado por Silva \(2005\)](#), datos de la European Weed Research Society (EWRS). Paralelo a esta evaluación se realizó una descripción general de los síntomas observados.

También se realizó una medición final utilizando el analizador SPAD para determinar el contenido de clorofila en hojas. Esta medición se realizó la última semana del experimento a todas las plantas de cada tratamiento, en ambas especies. Las mediciones se realizaron en hojas libres de humedad, que estuvieran en buen estado y que fueran del estrato medio de cada planta.

Al final de las 10 semanas se realizó una evaluación de la biomasa; se cosecharon 8 plantas al azar por tratamiento para cada especie analizada, a cada planta se le realizó una separación cuidadosa de hojas, tallo y raíces. Las muestras se limpiaron, se pusieron en bolsas de papel y posteriormente se pusieron en un horno a 105 °C por 24 horas, luego se registró el peso seco de cada una de las partes de las plantas.

Análisis de los datos

Se utilizó un análisis de varianza para las variables de respuesta considerando los efectos de Tratamiento y Bloque. El ANDEVA se analizó para las variables diámetro, crecimiento, y biomasa seca total. Se verificaron los supuestos básicos del análisis de varianza mediante la prueba de normalidad de los residuos del modelo de ANDEVA y la prueba de Levene para verificar la homogeneidad de las varianzas. Para la comparación de los tratamientos, se utilizó la prueba de comparación múltiple Tukey ($p \leq 0,05$) para establecer las diferencias estadísticas (nivel de significancia de $\alpha=0,05$). En el caso del análisis de la fitotoxicidad, se realizó una recopilación de datos semanales y se presentan los resultados en un gráfico y la descripción de los síntomas presentados en cada tratamiento.

Resultados y discusión

Respecto a la *G. arborea*, el cuadro 3 presenta los principales resultados de germinación y mortalidad. La evaluación de la melina se pudo ver afectada por el porcentaje de germinación de la semilla, sin embargo, en los tratamientos de Ametrina, Butaclor, Linuron, Oxifluorfen, Diuron, Oxadiagil y en el testigo, germinaron las semillas esperadas. En el caso de los demás tratamientos se presentó una germinación menor de la esperada; este efecto en los diferentes tratamientos pudo darse por el contacto del herbicida con la semilla o la hoja al momento de germinar, produciendo que algunas no germinaran. Atrazina, pendimetalina, Halasulfuron y Oxadiazon presentaron mortalidad durante el experimento, siendo mayor en el caso de la Pendimetalina donde germinó un 90 % de las plantas y al final del experimento solo un 75 % habían sobrevivido.

Los resultados para melina muestran que los tratamientos con Ametrina y Linuron, Diuron y el Testigo obtuvieron los más altos resultados en cuanto al parámetro de biomasa seca, mientras que el tratamiento con Pendimetalina obtuvo el menor peso seco al igual que los valores más bajos en la altura total; similarmente este mismo tratamiento no obtuvo buenos rendimientos en cuanto al diámetro. En el caso del contenido clorofila no se obtuvo diferencias significativas para la mayoría de los tratamientos, a pesar de obtener menores rendimientos

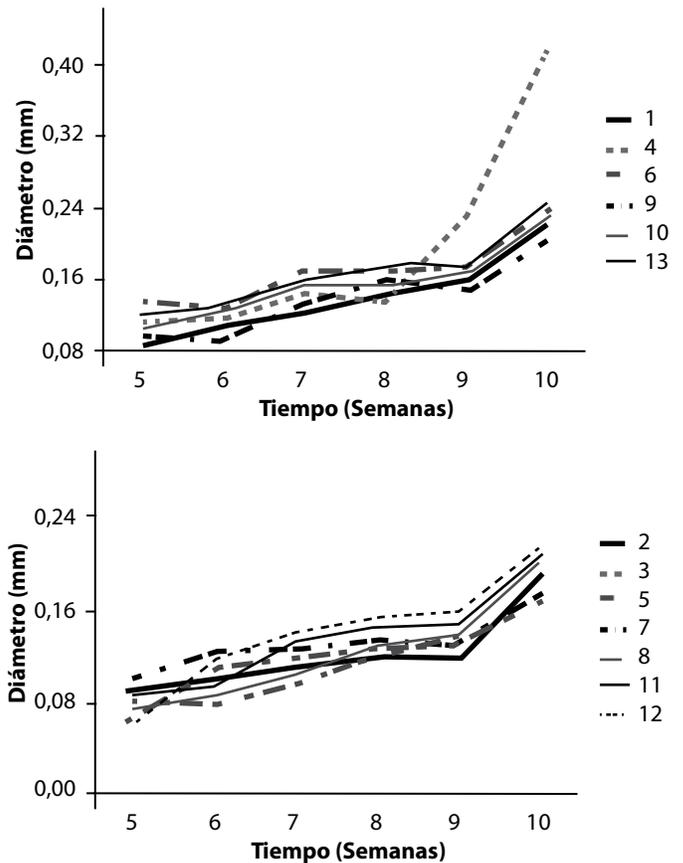


Figura 1. Resultados semanales de los tratamientos de los diámetros de las plantas de *G. arborea*.

Figure 1. Weekly diameter results of treatments of *G. arborea*.

en los resultados en general, además de presentar una fitotoxicidad final de 45 % de afectación en el tratamiento aplicado, la cual tiene implicaciones en el rendimiento de las plantas.

Al analizar los resultados del contenido de clorofila con el SPAD, el tratamiento con Oxifluorfen obtuvo los mejores resultados, el Halasulfuron Metil fue el tratamiento que demostró una mayor afectación en los procesos a nivel de hoja, al registrar en promedio un menor contenido de clorofila. En el caso de la evaluación de altura, el Oxifluorfen obtuvo mayor crecimiento en comparación con los demás tratamientos, también los tratamientos Ametrina y Linuron los mejores resultados en comparación con la mayoría de los tratamientos y formando una agrupación de medias con el tratamiento aplicado con Oxifluorfen. En el caso de la variable diámetro, el Linuron permitió un mayor diámetro con respecto al resto de demás tratamientos, además en el caso de tratamiento Oxifluorfen y el tratamiento Testigo presentaron resultados mayores que los demás tratamientos, pero significativamente menores que el tratamiento con Linuron. En el crecimiento y diámetro de

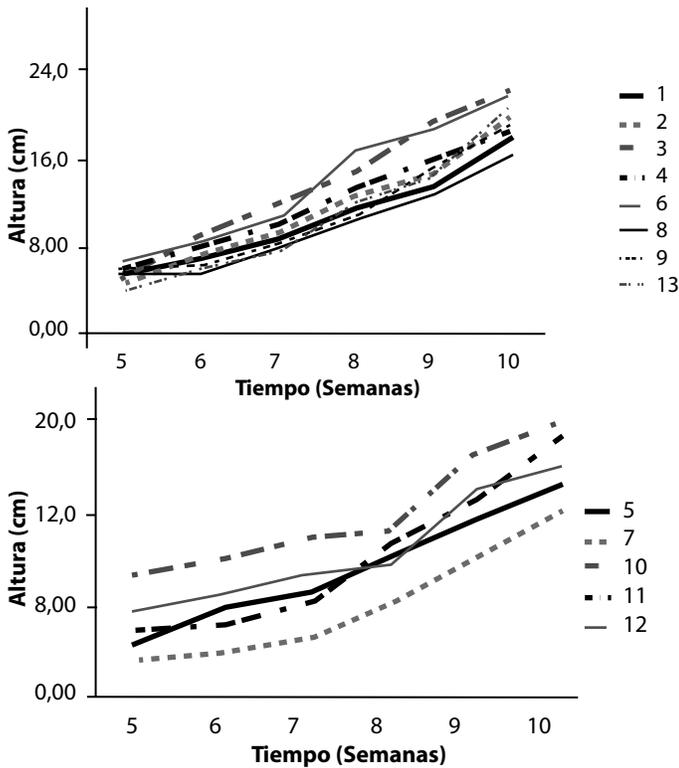


Figura 2. Resultados semanales del crecimiento de *G. arborea* en los tratamientos.

Figure 2. Weekly results of the growth of *G. arborea* in treatments.

la evaluación final, el Oxifluorfen y el Linuron obtuvieron los mejores resultados (cuadro 4). Los resultados de Oxifluorfen muestra valores promedio de 30,75 unidades de SPAD, un diámetro de 0,24 mm, una altura final de 24,70 cm y una fitotoxicidad máxima de 8 % con síntomas que no se reflejan en el rendimiento. Los resultados de los parámetros sobresalientes en el tratamiento de Linuron fueron un diámetro promedio 0,42 mm y un valor medio de altura de 24,23 cm, una biomasa promedio por planta de 2,36 g. Este tratamiento no obtuvo un resultado importante con relación al contenido de clorofila y en cuanto a la fitotoxicidad, el resultado no presentó efecto alguno.

En la figura 1 y 2 se muestran los resultados tanto del crecimiento y del diámetro de melina; se observan diferencias significativas en estas variables a partir de la semana 7 para los tratamientos de Linuron y Oxifluorfen, los cuales obtuvieron los mejores resultados. Los tratamientos que obtuvieron menores rendimientos en cuanto a crecimiento fueron Pendimetalina, Metsulfuron, Halasulfuron metil, Oxadiazon y Oxadiargil. En el cuadro 5 se muestran los resultados de fitotoxicidad de todos los tratamientos a los que se les aplicaron los herbicidas preemergentes del ensayo. Linuron y Tiobencarbo no presentaron síntomas; el tratamiento de Oxadiazon presentó síntomas al inicio, pero se logró recuperar al final del experimento, en el caso de Atrazina, Oxifluorfen,

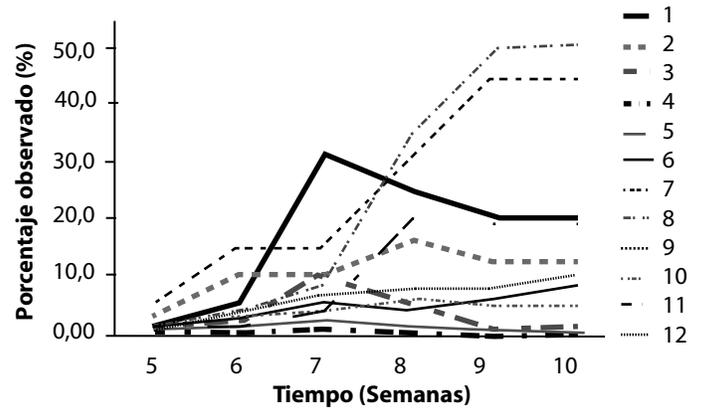


Figura 3. Efecto de la fitotoxicidad de los tratamientos de *G. arborea* durante el experimento.

Figure 3. Effect of the phytotoxicity of the treatments of *G. arborea* during the experiment

Halasulfuron Metil, Ametrina presentaron al final del experimento síntomas sin efecto, síntomas ligeros y síntomas que no se reflejan en el rendimiento. En el caso del Oxifluorfen las plantas al inicio presentaron mayor cantidad de síntomas; sin embargo, las plantas lograron recuperarse en una pequeña medida (cuadro 5).

En algunos tratamientos se vieron síntomas de malformaciones como en el caso de la Pendimetalina y el Metsulfuron en la especie Melina; la literatura cita estos síntomas dentro de los efectos de los herbicidas. En lo que respecta al Madero Negro, el cuadro 6 evidencia los resultados de germinación y sobrevivencia para cada uno de los tratamientos.

La germinación de madero negro presentó valores relativamente bajos, donde incluso el testigo presentó apenas un 75 % de germinación a las 4 semanas de iniciado el tratamiento. En el caso de la sobrevivencia se notó una afectación en comparación a germinación por tratamiento. En los tratamientos de Linuron, Halasulfuron metil, Oxadiazon y el testigo no se presentó mortalidad. En todas las demás murieron al menos una planta por tratamiento, excepto en el tratamiento de Pendimetalina donde hubo un 100 % de mortalidad (cuadro 7).

En general el herbicida que obtuvo los mejores rendimientos globales en todos los parámetros fue el Linuron, siendo un tratamiento sobresaliente en cuanto a que se presentó mortalidad de las malezas; peso de la biomasa total 3,46 g; contenido de clorofila de 30,55 unidades SPAD; diámetro del tallo 0,31 cm siendo un resultado solo superado por el tratamiento del Halasulfuron metil; altura de 27,19 cm y sin presentar efecto por fitotoxicidad al igual que el tratamiento testigo.

Entre los tratamientos que obtuvieron los más bajos rendimientos se encuentran el Pendimetalina que tuvo

Cuadro 4. Germinación y mortalidad de los tratamientos de las plantas de *G. arborea*.**Table 4.** Germination and mortality of the treatments of *G. arborea* plants.

Tratamiento	Porcentaje de Germinación (%)	Desviación estándar	Sobrevivencia final (%)	Desviación estándar
Atrazina	65	0,19	60	0,16
Ametrina	90	0,12	90	0,12
Butaclor	70	0,20	70	0,20
Linuron	100	0,00	100	0,00
Metsulfuron	100	0,00	100	0,00
Oxifluorfen	100	0,00	100	0,00
Pendimetalina	90	0,12	75	0,10
Diuron	100	0,00	100	0,00
Tiobencarbo	70	0,20	70	0,70
Oxadiargil	95	0,10	95	0,10
Halasulfuron Metil	85	0,10	75	0,19
Oxadiazon	80	0,16	75	0,19
Testigo	100	0,00	10	0,00

Cuadro 5. Resultado de biomasa seca total, contenido de clorofila, altura y diámetro de las plantas de *G. arborea*.**Table 5.** Result of total dry biomass, chlorophyll content, height and diameter of *G. arborea* plants.

Tratamiento	Biomasa seca total (g)	Contenido de Clorofila	Altura (cm)	Diámetro (mm)
Atrazina	1,11 ab	29,19 ab	19,56 abcd	0,22 efg
Ametrina	2,20 c	28,88 ab	22,12 cd	0,18abc
Butaclor	1,90 abc	27,87 ab	18,81 abcd	0,21 cdef
Linuron	2,36 c	27,15 ab	24,23 cd	0,42 h
Metsulfuron	1,91 abc	25,89 ab	15,13 ab	0,17 a
Oxifluorfen	1,34 abc	30,75 b	24,70 d	0,24 fg
Pendimetalina	1,13 a	28,99 ab	13,06 a	0,20 bcd
Diuron	1,60 c	27,36 ab	18,63 abcd	0,18 ab
Tiobencarbo	2,11 abc	29,47 ab	19,70 abcd	0,22 defg
Oxadiargil	1,72 abc	25,72 ab	19,33 abcd	0,21 bcde
Halasulfuron Metil	2,00 abc	25,26 a	18,21 abcd	0,21 bcde
Oxadiazon	1,42 abc	26,24 ab	16,25 abc	0,19 bcd
Testigo	2,36 c	27,48 ab	18,10 abcd	0,23 fg

*Diferencias significativas se indican con letras distintas. * Significant differences are indicated by different letters.

una mortalidad de todas las plantas germinadas de madero negro. También en varios de los parámetros analizados el Tiobencarbo, el Diuron, el Oxadiargil, el Oxifluorfen y el Oxadiazon obtuvieron menores resultados, estadísticamente no hubo diferencia significativa con los demás tratamientos (figura 4).

En la figura 5 se puede observar el comportamiento del crecimiento, así como la muerte total del tratamiento con

Pendimetalina, a partir de la semana 7, en comparación al tratamiento con Linuron que fue sobresaliente desde el inicio de las mediciones. Algunos de los síntomas presentados en las plantas de madero negro, fueron la bifurcación del tallo en el tratamiento del Metsulfuron, daños severos en las hojas en el tratamiento con Oxifluorfen y la pérdida de follaje de la parte inferior de la planta en el tratamiento con Diuron. El Tiobencarbo presentó bordes quemados y crecimiento irregular de

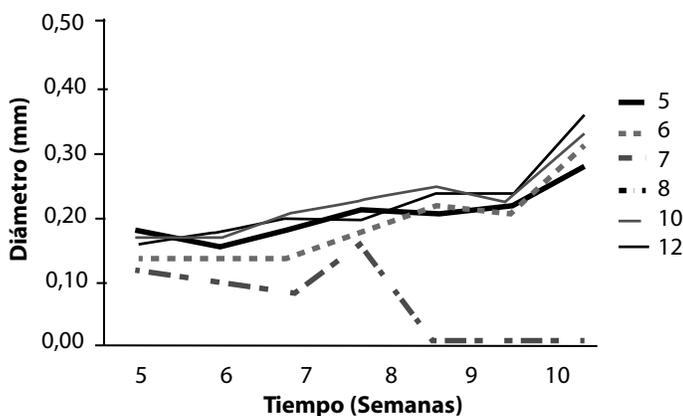
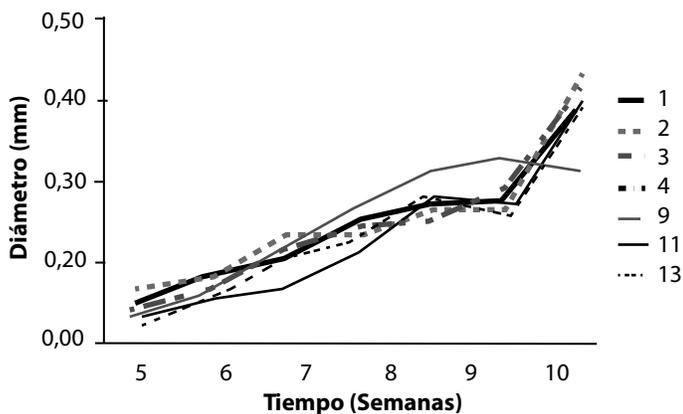


Figura 4. Resultados semanales de los tratamientos con los diámetros de mayor tamaño de las plantas de *G. sepium*.

Figure 4. Weekly results of the treatments with the larger diameters of *G. sepium* plants.

las hojas. Con el Oxadizon se presentó un daño medio, mucha producción de hojas, pero con bordes irregulares y doblados. En el caso de la Pendimetalina donde murieron todas las plantas hubo muerte del punto de crecimiento apical de las plantas desde las primeras semanas, luego el tejido se fue necrosando y posteriormente murió, la tendencia se refleja en la figura 6.

En ambas especies, el tratamiento con Pendimetalina causó mayor daño por fitotoxicidad, donde se dio una pérdida del 100% en madero negro. La pendimetalina es un herbicida que su acción es inhibir la organización de los microtúbulos. Hay reportes para otros cultivos (tomate bajo riego) donde la pendimetalina causó la muerte completa y tuvo un porcentaje de fitotoxicidad de 90,7 % (Perez et al., 2014). En el caso del Linuron que es un inhibidor del fotosistema II, los síntomas de aplicaciones premergentes en las hojas verdaderas de las plántulas se muestran cloróticas, posteriormente se necrosan y mueren (Diez, 2013). El madero negro mostró tener resistencia a la aplicación del Linuron con la dosis comercial del Linurex 50 wp; en el caso de la Melina se presentó una ligera clorosis solo al inicio del experimento, posteriormente los daños fueron disminuyendo durante las 10 semanas.

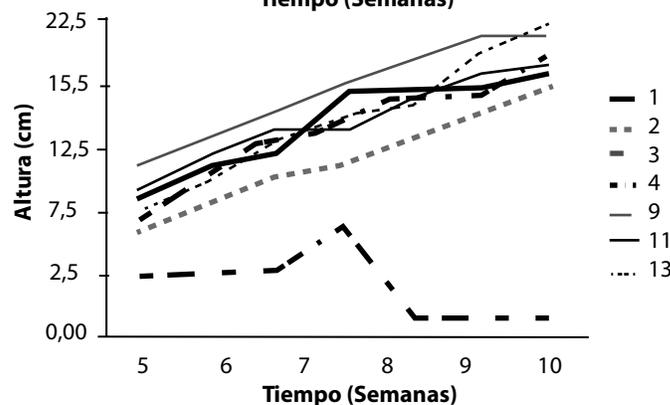
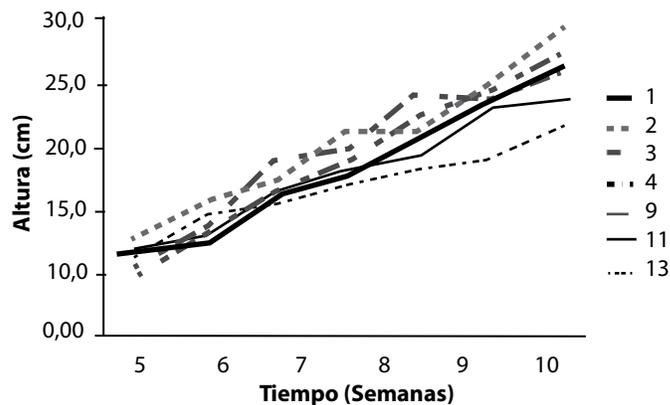


Figura 5. Resultados semanales del crecimiento de los tratamientos de *G. sepium*.

Figure 5. Weekly results of the growth of treatments of *G. sepium*.

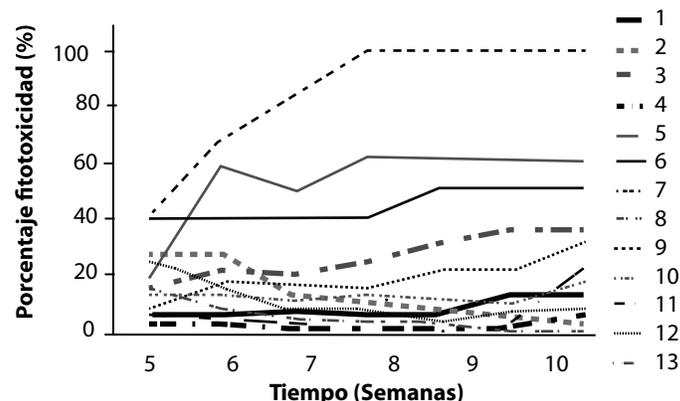


Figura 6. Resultado de la fitotoxicidad presentada en los tratamientos de *G. sepium* durante el experimento.

Figure 6. Weekly results of the treatments with the larger diameters of *G. sepium* plants.

El Oxifluorfen tiene como mecanismo de acción la inhibición de la enzima PPO oxidasa; dentro de sus síntomas de daño incluyen la clorosis y posterior necrosis

Cuadro 6. Resultado de la fitotoxicidad presentada en los tratamientos durante el experimento.**Table 6.** Result of the phytotoxicity presented in the treatments during the experiment.

Tratamiento	Valor	Fitotoxicidad en porcentaje	Descripción de los síntomas
Atrazina	3	5	Manchas cloróticas en hojas inferiores.
Ametrina	4	12	Manchas cloróticas en hojas inferiores y medias, algunas plantas altas con tallos doblados.
Butaclor	5	20	Manchas en hojas cotiledóneas en las primeras semanas, posteriores hojas con manchas color café como quemado. Pocas plantas con hojas necrosadas.
Linuron	1	0	No se presentaron síntomas
Metsulfuron	7	50	Algunas plantas presentan malformaciones, como producción de hojas pequeñas en grandes cantidades, crecimiento reducido en comparación a las plantas no afectadas. Manchas necróticas en hojas cotiledóneas.
Oxifluorfen	4	8	En algunas plantas, los bordes de las hojas inferiores se doblaron y se presentó algunas manchas verde claro con bordes blancos.
Pendimetalina	7	45	Malformaciones, en este caso el punto de crecimiento apical se vio afectado, las plantas crecieron hacia lo ancho, pero con tamaños reducido, las plantas se observan con bordes arrugados.
Diuron	1	1	No se presentaron síntomas de fitotoxicidad en la última semana
Tiobencarbo	1	0	No se presentaron síntomas de fitotoxicidad en la última semana
Oxadiargil	5	20	Manchas cloróticas en las plantas, en algunos casos 1/3 parte de las plantas están con manchas cloróticas y la coloración de estas es verde claro.
Halasulfuron metil	1	1	Hojas de apariencia más delgadas, con una coloración verde claro de algunas hojas.
Oxadiazon	1	0	Pequeñas manchas café en hojas inferiores, en las últimas semanas desaparecieron los síntomas ocasionados por fitotoxicidad.
Testigo	1	0	No se presentaron síntomas durante todo el experimento.

Cuadro 7. Germinación y sobrevivencia en *Gliricidia sepium*.**Table 7.** Germination and survival in *Gliricidia sepium*.

Tratamiento	Semana 4 inicio de mediciones (%)	Desviación estándar	Semana 10 final (%)	Desviación Estándar
Atrazina	70	0,12	65	0,10
Ametrina	55	0,25	50	0,26
Butaclor	85	0,19	65	0,10
Linuron	90	0,12	90	0,12
Metsulfuron	40	0,37	30	0,26
Oxifluorfen	75	0,19	65	0,10
Pendimetalina	45	0,19	0	0,00
Diuron	95	0,10	90	0,12
Tiobencarbo	60	0,23	40	0,16
Oxadiargil	70	0,38	65	0,34
Halasulfuron Metil	60	0,16	60	0,16
Oxadiazon	50	0,12	50	0,50
Testigo	75	0,19	75	0,19

Cuadro 8. Variables medidas a las 10 semanas de aplicación de tratamientos en *Gliricidia sepium*.

Table 8. Variables measured at 10 weeks of application of treatments in *Gliricidia sepium*.

Tratamiento	Biomasa Total (g)	Contenido de Clorofila	Diámetro (mm)	Altura (cm)
Atrazina	2,06 bc	26,37 cd	0,40 ab	27,24 b
Ametrina	2,09 bc	28,17 de	0,42 ab	29,13 b
Butaclor	2,70 cd	28,51 de	0,39 ab	25,61 ab
Linuron	3,46 d	30,55 e	0,31 ab	27,19 b
Metsulfuron	1,57 ab	30,47 e	0,38 ab	24,14 ab
Oxifluorfen	1,38 ab	27,57 cd	0,31 a	17,34 a
Diuron	1,50 ab	22,05 ab	0,32 ab	21,20 ab
Tiobencarbo	1,16 a	27,15 cd	0,38 ab	23,31 ab
Oxadiargil	1,58 ab	21,08 a	0,30 a	17,00 a
Halasulfuron metil	1,60 ab	24,58 bc	0,43 b	23,25 ab
Oxadiazon	1,64 abc	25,82 cd	0,36 ab	21,46 ab
Testigo	2,62 cd	26,15 cd	0,35 ab	21,32 ab

*Diferencias significativas se indican con letras distintas. * Significant differences are indicated by different letters.

Cuadro 9. Resultado de la fitotoxicidad presentada en los tratamientos de *Gliricidia sepium*.

Table 9. Result of the phytotoxicity presented in the treatments of *Gliricidia sepium*.

Tratamiento	Valor	Fitotoxicidad en porcentaje	Descripción de los síntomas
Atrazina	3	5	Plantas con crecimiento de bordes irregulares.
Ametrina	2	2	Al inicio presentó en las hojas inferiores coloración amarilla, luego este tejido se fue deteriorando hasta que se desprendieron, pero al pasar el tiempo algunas de las plantas afectadas se recuperaron.
Butaclor	2	2	Las primeras hojas de las plantas estuvieron afectadas por manchas cloróticas, posterior a esto algunas de las hojas inferiores presentaron bordes irregulares.
Linuron	1	0	No se presentaron síntomas de fitotoxicidad
Metsulfuron	8	60	Algunas plantas presentaron bifurcación, ya que el punto de crecimiento principal murió.
Oxifluorfen	8	50	Hojas con hojas dañadas, hojas con bordes quemados, con manchas amarillas y algunas con huecos sin forma.
Pendimetalina	9	100	El punto de crecimiento murió, las hojas cotiledóneas y toda la planta fueron muriendo poco a poco. Algunas se coloraron amarillo y luego los tejidos, tanto de los tallos como las hojas se necrosaron.
Diuron	6	30	En las primeras semanas las hojas presentaban hojas delgadas y de color más claro del medio de las plantas, estas se recuperaron sus características normales, pero en algunas se desprendieron las hojas y solo había follaje en la parte superior.
Tiobencarbo	5	15	Aquí el herbicida solo afectó algunas plantas, las afectadas presentaron las hojas inferiores con bordes irregulares, con parte de los bordes quemados.
Oxadiargil	4	10	Las hojas del tallo inferior se desprendieron, en algunas plantas quedaron pocas hojas en la parte superior, todas las plantas presentan los bordes de las hojas con una coloración verde claro, en la parte superior.
Halasulfuron Metil	4	0	Algunas hojas de tamaño pequeño y con una coloración verde diferente al resto de las plantas
Oxadiazon	4	35	En este tratamiento las plantas presentaron mucha producción de hojas, pero los bordes de las hojas eran irregulares y en algunos casos estaban dobladas. A lo largo del tallo se presentó un grosor irregular.
Testigo	1	0	Las hojas de algunas plantadas presentaron una coloración amarilla al inicio del experimento, pero fue desapareciendo con el tiempo

de hojas y tallos (Sanchez y Rosales, 2006). En la melina el tratamiento Oxifluorfen obtuvo una buena cantidad de características deseable para implementar la siembra directa; sin embargo, en lo referente a fitotoxicidad (cuadro 9) se presentaron síntomas ligeros, donde a diferencia de lo descrito, las hojas inferiores de algunas plantas se doblaron y algunas hojas mostraron manchas verde claro; sin embargo, con el tiempo se superaron los síntomas, por lo que hay evidencia que las plantas logran recuperarse de los síntomas provocados por este herbicida pre emergente.

En el caso los tratamientos testigo para ambas especies, como era de esperar no se presentaron daños por fitotoxicidad y mantuvieron valores de porcentaje de sobrevivencia estables durante el experimento, debido a que no estuvieron expuestos a las acciones fisiológicas de los diferentes herbicidas premergentes. Los dos testigos no obtuvieron para la mayoría de sus parámetros, diferencias estadísticamente significativas; sin embargo, estuvieron con valores por encima de los tratamientos más afectados. Se debe tener en cuenta que los tratamientos testigo estuvieron bajo la influencia natural de las malezas, aunque se limpiaron de malezas cada 15 días, por lo que en algún momento hubo interacción de las plantas con las malezas existentes en el suelo por lo que el rendimiento del tratamiento testigo pudo disminuirse por interacciones que no fueron objeto de estudio pero que bajo el diseño experimental fue una fuente de error identificada y controlada. Como indicaron García et al. (2012), el manejo de las malezas puede reflejar un menor crecimiento y desarrollo de árboles jóvenes dependiendo de la especie, siendo esto lo que puede explicar la diferencia de los resultados de los tratamientos testigos.

Conclusiones

- El rendimiento de los tratamientos testigos se comportó según lo esperado con respecto a los tratamientos a los que se les aplicó herbicidas premergentes.
- El Oxifluorfen y el Linuron fueron los tratamientos con mayor rendimiento en melina, aunque hubo afectación de fitotoxicidad en las plantas del tratamiento con Oxifluorfen que no afectaron en el rendimiento de las plantas.
- El tratamiento de Linuron sobre las plantas de madero negro no tuvo efecto de fitotoxicidad, además obtuvo los mejores resultados, en crecimiento, biomasa seca y contenido de clorofila.
- Según los resultados obtenidos en este experimento, el Linuron puede ser utilizado para el control de malezas en la siembra directa de melina y madero negro.

- La Pendimetalina fue el tratamiento que afectó un 100 % de las plantas de madero negro, se causó la mortalidad total y en melina mostró evidencia de malformaciones en los árboles.
- La germinación de la semilla del madero negro fue un parámetro afectado por el porcentaje de germinación del lote de semillas utilizadas.
- Según los resultados del experimento, la Pendimetalina es un herbicida que causa daño en la siembra directa de ambas especies, causando la muerte de las plantas de madero negro y malformaciones y otros daños sobre las plantas de la melina.
- El Oxifluorfen brinda también buenos resultados para ser aplicado en pre emergencia de siembra directa de melina.

Recomendaciones

Se recomienda implementar a escala los resultados de los mejores tratamientos y llevar un control del crecimiento y costos para validar la solución que se estaría ofreciendo a los productores de biomasa interesados en optimizar los costos de establecimiento de plantaciones dendroenergéticas.

Agradecimientos

Agradecemos a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE) del Tecnológico de Costa Rica, al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT), al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) por todo el apoyo logístico, técnico y financiero brindado durante la ejecución del presente estudio que formó parte del proyecto “Impulso tecnológico para la producción, transformación y uso de la biomasa para energía y biomateriales a partir de los residuos lignocelulósicos” (Contrato FI084-13).

Referencias

- Arauco. (2012). Guía para el manejo de la vegetación competitiva en forestal Arauco. Recuperado http://www.arauco.cr/_file/file_6702_21_guia_manejo_vegetaci%C3%B3n_competidora_sept_2012_%5Bbiof%5D.pdf
- Armando, V. (2001). Silvicultura de plantaciones forestales en Colombia. Recuperado de http://www.ut.edu.co/academico/images/archivos/Fac_Forestal/Documentos/LIBROS/LIBRO%20ARMANDO%20VASQUEZ.pdf

- Baetting, R; Yañez, M; Alborno, M. (2010). Cultivos dendroenergéticos de híbridos de álamo para la obtención de biocombustibles en Chile: Estado del arte. *Bosque (Valdivia)*, 31(2). 89-99. Recuperado http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002010000200002&script=sci_arttext
- Biomass users Network (BUN-CA).(2002). Manuales sobre energía renovables: Biomasa. Costa Rica: Biomass Users Network (BUN-CA). 36
- Carrasco, I., Ocaña, L., Peñuelas, J. y Dominguez, S. (1997). Ensayo de tratamientos herbicidas en cultivos de tres especies forestales (*Pinus halensis*, *Pinus nigra* y *Quercus ilex*) en vivero. (II congreso Forestal Español). Pamplona: Ministerio de medio ambiente.
- Diez-de Ulzurrun, P. (2013). Manejo de malezas problema: Modos de acción herbicidas. Facultad Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata, Santa Fé, Argentina: REM-AAPRESID
- Dirección Sectorial de Energía y Ministerios de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones; (2011). VI Plan Nacional de Energía 2012-2030. Recuperado de <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=39201289> .
- Esquivel, E., Rubilar, R., Sandoval, S., Acuña, E., Cancino, J., Espinosa, M. y Muñoz, F. (2013). Efecto de plantaciones dendroenergéticas en el carbono a nivel de suelo, en dos suelos contrastantes de la región de Biobío, Chile. *Revista Árvore*. 37 (6), 1135-1144.
- García, E., Sotomayor, A., Silva, S. y Valdebenito, G. (2012). Establecimiento de plantaciones forestales. Recuperado de <http://www.icf.gob.hn/secciones/Programa%20Reforestacion/Documentos/Manual%20del%20Eucalipto.pdf>
- González, G.; Moya, R. (2003). Ensayos tecnológicos de vigas laminadas de melina. In Seminario: La Industria y la comercialización de productos forestales en Latinoamérica. Costa Rica: INISIFOR –UNA.
- Gonzales, G. y Serrano, R. (2004). Propiedades y utilización de la melina (*Gmelina arborea* Roxb) procedente de árboles plantados en Costa Rica. *Kurú: Revista Forestal*, 1(1), 1-9.
- Instituto Meteorológico Nacional (2009). Boletín Perspectivas Climatológicas. San José, Costa Rica. Recuperado de http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?__EVENTTARGET=ClimaCiudad&CIUDAD=10
- Macías-Hernández, P. (2012). Herbicidas orgánicos vs herbicidas químicos. (Monografía para titulación de Ingeniería Ambiental). Universidad Veracruzana, Veracruz, MX.
- Macías-Hernández, P. (2012). Herbicidas orgánicos vs herbicidas químicos. (Monografía para titulación de Ingeniería Ambiental). Universidad Veracruzana, Veracruz, MX
- Mejía, A., Castillo, A. y Gómez, M. (2005). Plan estratégico para el desarrollo de plantaciones y reforestación en el trópico seco de Nicaragua. Nicaragua: MAGFOR. 37
- Minogue, P. y Osiecka, A. 2013. Herbicides for weed control in Eucalyptus culture. Recuperado de <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/FR/FR37800.pdf>
- Perez-Moreno, L., Castañeda-Cabrera, C., Ramos-Tapia, M. y Tafoya-Razo, J. (2014). Control químico preemergente de la maleza en tomate de cáscara. *INTERCIENCIA*. 39 (6): 422-427.
- Quintanar, A., Angeles, G. y Zavala, J. (2009). Anatomía, índices físicos e hidráulicos de la madera de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. *Madera bosques*, 15, 71-91.
- Rojas, F., Arias, D., Moya, R., Meza, A., Murillo, O. y Arguedas, M. (2004). Manual para productores de Melina *Gmelina arborea* en Costa Rica: Capítulo 3: Manejo de plantaciones. ITCR, FONAFIFO.
- Rosales-Robles, E., Sánchez- de la Cruz, R. (2006). Clasificación y uso de los herbicidas por su modo de acción. (INIFAP-Campo experimental Río Bravo, Folleto técnico. Vol 35) México: SAGARPA Y INIFAP.
- Silva, Miguel; Rodríguez, José; Díaz, Oviedo; Bautista, Néstor. 2005. Biological effective of a fatty acid derivative for the control of *Macrosiphum rosae* L.(Homoptera: Aphididae) and *Tetranychus urticae* Koch (Acari:Tetranychidae). *Agrociencia* 39(3): 319-325 (Cuadro de Champion, 2000)
- Soto, A. y Valverde, B. (1991). Los herbicidas: Propiedades fisicoquímicas, clasificación y mecanismos de acción. San José, CR: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Willoughby, I; Clay, D; Dixon, F. (2003).The effect of pre-emergent herbicides on germination and early growth of broadleaved species used for direct seeding. *Forestry*. 76(1), 83-94.

Este artículo debe citarse como:

Hernández, N; Arias, D; Herrera, F; Briceño, E; Guevara, M; Esquivel, E. (2018). Efecto de herbicidas preemergentes sobre la siembra directa de semillas pregerminadas de *Gmelina arborea* Roxb. y *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 15 (Suppl. 01): 69-70. doi. 10.18845/rfmk.v15i1.3729