

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

ALTERNATIVAS AL CONTROL QUÍMICO DE MALEZAS POST
PLANTACIÓN EN *Eucalyptus dunnii*

por

Sofía BARRIOS AMORÍN
María Florencia ROSAS ALVES de OLIVEIRA

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2021

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. Dra. Juana Villalba

Ing. Agr. Mariana Crucci

Ing. Agr. Mathias Collares

Fecha: 03 de junio de 2021

Autoras: -----

Sofía Barrios Amorín

María Florencia Rosas Alves de Oliveira

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, un especial agradecimiento a nuestras familias, amigos y compañeros por el apoyo incondicional a lo largo de toda la carrera y por los momentos compartidos.

A nuestra directora de tesis Ing. Agr. Dra. Juana Villalba, por su dedicación, compromiso, y por acompañarnos en cada paso de esta última etapa.

A la Ing. Agr. Mariana Crucci, Ing. Agr. Ricardo Buzzo, y demás personal de la empresa Forestal Oriental S.A por su disposición. A la empresa por darnos la oportunidad y brindarnos el espacio y los medios para realizar este trabajo.

A Lic. Sully Toledo por su responsabilidad y dedicación en el desarrollo de este trabajo.

A Facultad de Agronomía y todos los docentes por brindarnos las herramientas y el conocimiento que hizo posible nuestra formación.

TABLA DE CONTENIDO

| | Página |
|---|--------|
| PÁGINA DE APROBACIÓN..... | II |
| AGRADECIMIENTOS..... | III |
| LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES..... | VI |
| | |
| 1. <u>INTRODUCCIÓN</u> | 1 |
| | |
| 2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> | 3 |
| 2.1. MALEZAS Y SUS CARACTERÍSTICAS..... | 3 |
| 2.2. MALEZAS E IMPORTANCIA DE SU CONTROL EN FORESTACIÓN..... | 4 |
| 2.2.1. <u>Formas de control utilizadas actualmente</u> | 6 |
| 2.3. IMPORTANCIA DE BUSCAR ALTERNATIVAS AL CONTROL QUÍMICO..... | 8 |
| 2.4. MÉTODOS DE CONTROL DE MALEZAS..... | 10 |
| 2.4.1. <u>Control cultural</u> | 11 |
| 2.4.1.1. Ácido acético..... | 11 |
| 2.4.2. <u>Control físico</u> | 13 |
| 2.4.2.1. Agua caliente y espuma utilizadas en Foamstrem..... | 14 |
| 2.4.2.2. Liquid mulch..... | 18 |
| 2.4.2.3. Descarga eléctrica..... | 20 |
| 2.4.3. <u>Control mecánico</u> | 24 |
| 2.4.4. <u>Control biológico</u> | 25 |
| 2.4.5. <u>Control preventivo</u> | 25 |
| | |
| 3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> | 27 |
| 3.1. LOCALIZACIÓN..... | 27 |
| 3.2. CONDICIONES EXPERIMENTALES..... | 27 |
| 3.3. EXPERIMENTO 1..... | 29 |
| 3.3.1. <u>Diseño experimental y alternativas</u> | 29 |
| 3.3.2. <u>Metodología</u> | 30 |
| 3.3.3. <u>Determinaciones</u> | 33 |
| 3.3.4. <u>Análisis estadístico</u> | 35 |
| 3.4. EXPERIMENTO 2..... | 36 |
| 3.4.1. <u>Diseño experimental y alternativas</u> | 36 |
| 3.4.2. <u>Metodología</u> | 36 |
| 3.4.3. <u>Determinaciones</u> | 37 |
| 3.4.4. <u>Análisis estadístico</u> | 38 |
| 3.5. EXPERIMENTO 3..... | 38 |
| 3.5.1. <u>Diseño experimental y alternativas</u> | 38 |
| 3.5.2. <u>Metodología</u> | 38 |

| | |
|---|----|
| 3.5.3. <u>Determinaciones</u> | 39 |
| 3.5.4. <u>Análisis estadístico</u> | 39 |
| 4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> | 40 |
| 4.1. EXPERIMENTO 1..... | 40 |
| 4.2. EXPERIMENTO 2..... | 51 |
| 4.3. EXPERIMENTO 3..... | 52 |
| 4.4. COMENTARIOS GENERALES DE ALTERNATIVAS..... | 59 |
| 5. <u>CONCLUSIONES</u> | 63 |
| 6. <u>RESUMEN</u> | 64 |
| 7. <u>SUMMARY</u> | 66 |
| 8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> | 68 |
| 9. <u>ANEXOS</u> | 77 |

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

| Cuadro No. | Página |
|---|--------|
| 1. Descripción y fecha de instalación de las alternativas aplicadas en el experimento uno..... | 29 |
| 2. Fechas de evaluación del porcentaje de control, porcentaje de cobertura, y porcentaje de enmalezamiento final de malezas de las distintas alternativas en la fila de plantación..... | 34 |
| 3. Descripción y fecha de instalación de las alternativas aplicadas en el experimento dos..... | 36 |
| 4. Fechas de medición del porcentaje de germinación..... | 38 |
| 5. Enmalezamiento inicial (% de cobertura) previo a la aplicación de las alternativas 1, 2, 3 y 5 en la fila de plantación, evaluado el 20/07..... | 41 |
| 6. Enmalezamiento inicial previo a la aplicación de la alternativa con descarga eléctrica (A4), evaluado el 05/08..... | 41 |
| 7. Porcentaje de control de <i>B. incana</i> bajo diferentes alternativas en la fila de plantación, en distintas fechas de evaluación..... | 41 |
| 8. Porcentaje de control de <i>B. incana</i> bajo la alternativa con descarga eléctrica (A4) en las distintas fechas de evaluación..... | 44 |
| 9. Porcentaje de cobertura en las alternativas 1 y 2 evaluadas a los 59 dpa..... | 46 |
| 10. Porcentaje de cobertura final en las alternativas 1, 2, 3, y 5 evaluadas a los 87 dpa..... | 46 |
| 11. Porcentaje de cobertura promedio de malezas en el spot de Liquid mulch (A6) evaluado a los 65 dpa..... | 47 |
| 12. Porcentaje de cobertura promedio de malezas en el spot y en los espacios que no presentaban cobertura de Liquid mulch (A6) a los 93 dpa..... | 48 |
| 13. Altura y DAC promedio de cada alternativa al final del experimento.... | 49 |

| | |
|---|----|
| 14. Porcentaje de germinación de <i>Lolium</i> spp. bajo diferentes alternativas en la fila de plantación, sembrado el 20/07..... | 51 |
| 15. Enmalezamiento inicial antes de aplicar las alternativas 1, 2 y 3 en la entrefila de plantación, evaluado el 20/07..... | 53 |
| 16. Porcentaje de control de las distintas especies bajo diferentes alternativas en la entrefila de plantación, evaluado el 30/07 a los 9 dpa..... | 53 |
| 17. Porcentaje de control de las distintas especies bajo diferentes alternativas en la entrefila de plantación, evaluado el 13/08 a los 23 dpa..... | 55 |
| 18. Porcentaje de control de las distintas especies bajo diferentes alternativas en la entrefila de plantación, evaluado el 28/08 a los 38 dpa..... | 55 |
| 19. Porcentaje de control de las distintas especies bajo diferentes alternativas en la entrefila de plantación, evaluado el 18/09 a los 59 dpa..... | 56 |
| 20. Porcentaje de cobertura final en las alternativas 1, 2 y 3 evaluadas el 16/10, a los 87 dpa..... | 57 |
| Figura No. | |
| 1. Esquema representativo del funcionamiento de la máquina Foamstream..... | 15 |
| 2. Esquema representativo del funcionamiento del equipo IZI..... | 22 |
| 3. Aplicadores del modelo IZI que provocan la descarga eléctrica | 22 |
| 4. Polígono de “El Chasque”, donde se realizaron los experimentos..... | 27 |
| 5. Precipitaciones acumuladas (mm) por quincena para el departamento de Durazno, desde el 15/06 al 16/10..... | 28 |
| 6. Temperatura media (°C) desde el 15/06 al 16/10..... | 29 |

| | |
|---|----|
| 7. Equipo utilizado para aplicación de agua caliente..... | 30 |
| 8. Equipo utilizado capaz de producir la descarga eléctrica..... | 32 |
| 9. Equipo utilizado para la aplicación de Liquid mulch..... | 33 |
| 10. Tres surcos realizados en la fila, recién sembrados..... | 37 |
| 11. Representación del diseño experimental y la unidad experimental del experimento 2..... | 37 |
| 12. Enmalezamiento inicial en una parcela correspondiente al testigo (A5), compuesto principalmente por <i>B. incana</i> en la fila de plantación el 20/07..... | 40 |
| 13. Fotografía tomada en la primera evaluación de porcentaje de control (9 dpa) en parcela donde se aplicó la alternativa con máquina de agua caliente..... | 42 |
| 14. <i>B. incana</i> antes de la aplicación de ácido acético (A2) el 20/07, y al día siguiente..... | 44 |
| 15. Plantas de <i>B. incana</i> “grandes” a los 7 dpa, aún bajo efectos de control de la alternativa con descarga eléctrica (A4)..... | 45 |
| 16. Spot con emergencias de malezas a los 65 dpa..... | 47 |
| 17. Emergencias de <i>Lolium</i> spp. a los 16 días post siembra bajo el testigo (A5)..... | 51 |
| 18. Parcela donde se aplicó la alternativa con máquina de agua caliente (A1) a los 23 dpa..... | 54 |
| 19. <i>Conyza</i> spp. antes de la aplicación con máquina de agua caliente (A1), el 20/07 e inmediatamente después de la misma..... | 58 |
| 20. <i>Conyza</i> spp. antes de la aplicación de ácido acético (A2), el 20/07 y al día siguiente de la misma..... | 58 |
| 21. Parcela con alternativa de agua caliente (A1), el 30/07 a los 9 dpa..... | 59 |

| | |
|--|----|
| 22. Aplicación de agua caliente en la fila de plantación alrededor del árbol, y después de la aplicación con la maleza que no pudo ser controlada..... | 60 |
|--|----|

1. INTRODUCCIÓN

El rubro forestal ha tenido un gran desarrollo en las últimas décadas en el Uruguay, llegando a ocupar una superficie con bosques plantados de 1.034.712 ha, de las cuales el 70% corresponde a *Eucalyptus* spp. y *Pinus* spp. 30% (MGAP. DGF, 2018b). A más de 30 años de la Ley Forestal No. 15.939 de 1987, hoy la forestación se posiciona como el principal complejo exportador del país. La ley impulsó fuertemente el rubro mediante diversas medidas y logró obtener un gran impacto económico, favoreciendo a zonas que históricamente fueron las más limitantes para la producción.

El cultivo forestal, tiene como objetivos principales la producción de madera de calidad y madera para pulpa de celulosa, definiendo rotaciones de largo plazo y con períodos de tiempo que varían entre 9 y 25 años. Sin embargo, son en las primeras etapas de desarrollo donde es clave el manejo en relación al control de malezas y también de plagas.

El control de malezas se convierte en una práctica esencial para la sobrevivencia y el crecimiento de la plantación. El mismo se realiza especialmente durante el primer año de plantación, período en el que ocurre la mayor competencia por luz, agua y nutrientes. Actualmente la forma de control más utilizada es con herbicidas preemergentes y/o postemergentes en la fila de plantación y luego de instalada la misma. La entrefila es controlada post plantación con aplicaciones dirigidas de glifosato y la adición de otros herbicidas en el caso de la presencia de malezas resistentes o tolerantes a este herbicida.

Para un manejo forestal sustentable la gran mayoría de las empresas certifican sus bosques. El Forest Stewardship Council® (FSC) es una organización que ha permitido que gran parte de los bosques en Uruguay se encuentren certificados. Esto además de significar un beneficio para las empresas, implica que debe haber un cumplimiento de las exigencias que éste impone. Dentro de las exigencias, se encuentra la restricción para el uso de herbicidas, publicando cada año una lista con productos prohibidos, o cuyo uso debe ser justificado.

De esta forma, surge la inquietud de buscar alternativas al control químico para el control de malezas. En los últimos años, ha aumentado el interés de investigar sobre esta práctica y la eficiencia que pueden tener otras formas de control. La integración de diversos métodos, la sustentabilidad de los sistemas, la reducción de costos y riesgos, y los problemas de resistencia de malezas al uso de herbicidas son clave, en la definición de las perspectivas de los manejos silvícolas, y que desafían el crecimiento del sector en los próximos años.

En este contexto, la finalidad del trabajo es aportar información sobre alternativas al control de malezas con herbicidas, disponibles hoy en el mercado, aunque utilizadas en otras actividades. Se evaluó así, agua caliente, ácido acético, uso de descarga eléctrica y aplicación de Liquid mulch. Se establecieron tres experimentos en una plantación de *Eucalyptus dunnii*, el experimento uno, tuvo como objetivo evaluar las alternativas en post plantación en el control de malezas de la fila. El experimento dos se realizó para evaluar el efecto de dichas alternativas en la germinación de semillas. El experimento tres, tuvo como objetivo, ampliar la información de control, evaluando la efectividad en distintas malezas, presentes en la entrefila.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. MALEZAS Y SUS CARACTERÍSTICAS

Las malezas son consideradas como poblaciones vegetales que se desarrollan exitosamente sin haber sido sembradas, en ambientes agrícolas alterados por el hombre (Radosevich et al., 1997).

Según FAO (s.f.), son aquellas plantas producto de una selección interespecífica generada a partir de prácticas agrícolas realizadas por el hombre desde los comienzos de la agricultura.

La definición de las malezas es considerada por Lacasta (2003), como un concepto antropológico y no biológico. Esto puede relacionarse con otros conceptos en donde las malezas son definidas como plantas que causan daños económicos y sociales a los agricultores (FAO, s.f.).

Sin embargo, es importante reconocer cualidades beneficiosas que esta vegetación proporciona, como por ejemplo su aporte a la conservación del suelo, aportando materia orgánica, controlando la erosión, generando hábitats y microclimas beneficiosos para la fauna (Valera et al., citados por Lacasta, 2003).

En la actualidad existen alrededor de 250.000 especies vegetales, de las cuales 8000 son consideradas malezas (Radosevich et al., 1997). Las más problemáticas representan 250 especies, el 0,1% de la flora mundial (Radosevich et al. 1997, Lacasta 2003). Estas se encuentran concentradas en pocas familias botánicas, de las cuales Poaceae y Asteraceae son las más significativas en cuanto al número de especies (Radosevich et al., 1997).

Las malezas pueden ser nativas, favorecidas por perturbaciones causadas en la actividad agrícola, o exóticas, introducidas desde otras zonas geográficas mediante la actividad del hombre (Radosevich et al., 1997).

Se clasifican como anuales y perennes, según su ciclo de vida. Las que persisten cortos períodos de tiempo se reproducen sexualmente mediante la producción de semillas mientras que las que sobreviven tiempos más prolongados también se reproducen vegetativamente por estolones, rizomas y otros órganos de reproducción (FAO, s.f.).

En el suelo existe un banco de semillas y propágulos que generan una continua emergencia de éstas, haciendo que las poblaciones no sufran cambios bruscos en su tamaño a corto plazo. "Afortunadamente" sólo un bajo porcentaje germinan y se establecen como plantas, ya que dependen de la dormición de las semillas, de condiciones climáticas y edáficas, entre otras (Lacasta, 2003).

El éxito de las malezas está relacionado a la capacidad de proliferación que presentan, a la rapidez de colonización de los ambientes, y a su gran capacidad de competir. Debido a estas características y a los efectos negativos que estas causan en la productividad de los cultivos, las malezas son consideradas problemáticas (Radosevich et al., 1997). Según Lacasta (2003), después de las limitaciones ambientales, las malezas son la causa principal en la disminución de productividad de los cultivos.

Para maximizar el rendimiento de la producción, es necesario desarrollar un programa de manejo de malezas. Es de importancia caracterizar las especies presentes y la biología de las mismas, las tasas de reproducción y germinación bajo diferentes condiciones o épocas del año, viabilidad de los órganos de reproducción y la forma en que afectan al cultivo.

Ferreira da Silva et al. (2018), sostienen que el control se debe realizar hasta que el gasto del mismo no sea superior a las pérdidas ocasionadas por la competencia de las malezas.

2.2. MALEZAS E IMPORTANCIA DE SU CONTROL EN FORESTACIÓN

En Uruguay las plantaciones forestales son principalmente de *Eucalyptus* spp. Son especies de crecimiento rápido y rotaciones “cortas”, para el caso de producción de pulpa (Bennadji, 1996).

Datos expuestos por MGAP. DGF (2018a), sostienen que se destinan 1.034.712 hectáreas a la actividad forestal, dentro de las cuales la especie que ocupa mayor superficie es *E. grandis*, seguida por *E. dunnii*.

E. dunnii ocupa una superficie de 191.035 hectáreas efectivas, y la tendencia en los últimos años de relevamiento es a aumentar su participación. En el año 2019 fue la especie más producida en los viveros forestales del país, representando más de la mitad del total de plantines producidos (MGAP. DGF, 2020).

Es una especie de alta adaptabilidad a diversas condiciones. Si bien prefiere suelos húmedos y altamente fértiles (Boland et al., 2006), presenta buenos comportamientos en suelos de buena profundidad y fertilidad moderada a alta (Herbert, citado por Arnold et al., 2009). Es muy utilizada en zonas bajas de las plantaciones, ya que tolera la ocurrencia de heladas y los suelos con buena retención de agua (Arnold et al., 2009).

Ha resultado ser una especie de gran interés debido a sus características pulpables y a sus altas tasas de crecimiento, logrando un IMA aproximado de 27 a 29 m³/ha/año en Uruguay (Resquín, 2003).

En las plantaciones forestales se establecen manejos silvícolas diversos, de los cuales el control de malezas es denominado fundamental y prioritario, determinante para el establecimiento exitoso de la plantación (Methol 1996, Pereira et al. 2014).

Particularmente el género *Eucalyptus* spp. es sensible a la competencia siendo las etapas iniciales las más críticas (Pitelli y Marchi, citados por Villalba et al., 2010). Por esto, los métodos de manejo de malezas buscan favorecer al cultivo en estas primeras fases de su desarrollo.

El período crítico se define por Lacasta (2003), como el espacio de tiempo en el que la presencia de las malezas implica una pérdida medible del rendimiento, y señala el mejor momento para realizar el control.

Luego de este período, los árboles logran controlar la competencia por sí mismos con el cierre de copas, cubriendo la entrefila de plantación rápidamente (Villalba et al., 2010), sombreando las malezas, disminuyendo su capacidad reproductiva y por lo tanto, su población (Constantin, 2011).

Según Lacasta (2003), el período crítico es afectado por la densidad, marco de plantación, edad (tamaño) de las plantas y resulta importante utilizar variedades que tengan una tasa de crecimiento rápida en los estadios iniciales ya que competirán mejor con las malezas.

Los niveles de enmalezamiento inicial están muy relacionados con la historia agrícola del sitio. Campos provenientes de agricultura tendrán infestaciones con especies de malezas más agresivas y de mayor competitividad, a diferencia de campos naturales que no han sufrido perturbaciones anteriormente. En el caso de reforestaciones, estará determinado por el banco de semillas del suelo. Por lo tanto, estos factores determinarán manejos diferentes (Villalba, 2011).

La importancia de realizar un adecuado control de malezas radica en que éstas influyen directamente en la calidad y en el rendimiento de las plantaciones.

Sánchez, citado por Villalba et al. (2010) sostiene que la intensidad del control de malezas influye sobre la sobrevivencia de la plantación, determinando que entre el 75 y 90% de la mortalidad está explicada por esta práctica.

Además de afectar la sobrevivencia, el control de malezas tiene efectos en el crecimiento y la homogeneidad de la plantación (Vera y Larocca, 2004). George y Brennan (2002), demostraron que durante los primeros 25 meses de la plantación existe una clara relación negativa entre el crecimiento de los

árboles y la presencia de malezas, lo que demuestra que estas últimas utilizan los recursos limitantes del suelo, no dejándolos disponibles para los árboles.

Villalba (2011), destacó que árboles en áreas donde no se realizó control de malezas presentaron aproximadamente un 40% menos de altura a los 160 días post aplicación en relación a los que sí recibieron el control.

Estos daños sobre las plantaciones ocurren a partir de que se establece la competencia. Tanto los árboles como las malezas requieren recursos para crecer y desenvolverse, siendo los principales agua, nutrientes, espacio y luz. En general, estos pueden estar de forma insuficiente para las necesidades de ambos (Pereira et al., 2014).

Las malezas reducen la disponibilidad de agua en el suelo por incrementar la evapotranspiración y por interceptar parte del agua de lluvia, que queda retenida en las hojas. Esto está correlacionado con la absorción de nutrientes. Ambos sistemas radiculares extraen agua y nutrientes de la misma capa de suelo, produciendo un agotamiento de los mismos (Davies, 1987).

A su vez, árboles juveniles presentan hojas más chicas y en menor cantidad, en presencia de malezas generalmente ocurre deficiencia de nutrientes, principalmente de nitrógeno (Davies, 1987).

La sombra provocada por las malezas sobre los árboles, reduce la intercepción de luz y por lo tanto la fotosíntesis. Estos árboles tienden a crecer más en altura disminuyendo su sistema radicular y el diámetro de su tallo (Davies, 1987).

Además, pueden interferir con los árboles al liberar toxinas, modificar la temperatura del suelo y del aire y albergar plagas, afectando el estado sanitario de los mismos (Davies, 1987).

El control de malezas en las plantaciones forestales permite la expresión del efecto de la fertilización, preparación del sitio y potencial genético (Rodríguez et al., citados por Methol, 1996). En el suelo libre de malezas se reducen los riesgos de daños por heladas y se facilitan las tareas de búsqueda y control de hormigas cortadoras (Methol, 1996). Además, el control acelera el proceso de descomposición de materia orgánica (Davies, 1987).

2.2.1. Formas de control utilizadas actualmente

El control químico es el más utilizado en la actualidad en el país para el control de malezas. Consiste en la utilización de herbicidas, que aplicados a las plantas interfieren en sus procesos bioquímicos y fisiológicos, pudiendo matarlas o retardar significativamente su crecimiento (Constantin, 2011).

El uso de herbicidas se ha vuelto una práctica frecuente en los últimos años debido a que es una alternativa de bajo costo y amplio espectro, su aplicación puede cubrir una gran superficie por día (importante desde el punto de vista operativo) y tiene un efecto residual logrando un control prolongado (Methol, 1996), en el caso del uso de herbicidas preemergentes.

Se pueden utilizar herbicidas preemergentes o postemergentes, en diferentes etapas de la plantación. Los herbicidas preemergentes se aplican previo a la emergencia de las malezas, en la actualidad, principalmente sobre la fila. Las características buscadas en estos herbicidas son la residualidad, selectividad y amplio espectro. Estos herbicidas son aplicados pre plantación o lo más inmediato a la plantación, y se repite la operación en el momento que permita capitalizar el mayor tiempo de residualidad posible de la aplicación anterior (Villalba, 2011).

Los herbicidas postemergentes actúan sobre malezas ya emergidas, y deben ser seleccionados en función de su selectividad con el cultivo. En el caso de no ser selectivos, como por ejemplo el glifosato, las aplicaciones deben ser dirigidas. Esto implica utilizar una tecnología ajustada que permita aplicar el producto sin mojar al árbol (Methol, 1996).

El glifosato es el herbicida más utilizado post plantación en la actividad forestal (Villalba, 2011) y es por amplio margen el herbicida más utilizado en todo el Uruguay. Este dato es reflejado por MGAP, citado por Félix y Urioste (2016) que sostiene que es el herbicida más importado a nivel nacional, ocupando aproximadamente el 60% del total.

Los herbicidas que se aplicaron en este trabajo representan el control operativo que realiza la empresa, son herbicidas de uso frecuente en las plantaciones forestales, que cumplen con los estándares requeridos por FSC.

Todos los herbicidas fueron aplicados post plantación, por lo que los mismos son selectivos para *Eucalyptus* spp. Los preemergentes utilizados fueron isoxaflutole y s-metolaclor.

Isoxaflutole utilizado bajo el nombre comercial Zethin, es un herbicida selectivo que controla malezas de hoja ancha y gramíneas, inhibiendo la enzima responsable de la síntesis de carotenoides. Presenta residualidad baja de aproximadamente 20 - 30 días (Proquimur, s.f.).

El herbicida s-metolaclor utilizado fue Alfamex 960 EC. Presenta amplio control de gramíneas y otras malezas, actúa por contacto inhibiendo la división celular en la zona radicular o coleóptile, al afectar el metabolismo de lípidos y la síntesis de proteínas. Es selectivo y tiene una residualidad alta, de 5 a 10

semanas. La información proporcionada fue extraída de la etiqueta (Tafirel, s.f.), y de la ficha técnica (Tafirel, s.f.).

Los herbicidas postemergentes utilizados fueron clopyralid y haloxifop.

Cardex 480 SL, fue el producto comercial utilizado del herbicida clopyralid. Es un herbicida indicado para el control de malezas de hoja ancha, selectivo, de acción hormonal (actúa regulando el crecimiento). Es sistémico, se absorbe vía foliar y radicular, y se transloca a los sitios donde ejerce su acción (Lanafil, s.f.).

El herbicida haloxifop fue utilizado bajo el nombre comercial Halaxy Full. El mismo es selectivo, de acción sistémica e inhibe la síntesis de la enzima acetil CoA. Controla gramíneas anuales y perennes (MGAP. DGSSAA, 2014).

2.3. IMPORTANCIA DE BUSCAR ALTERNATIVAS AL CONTROL QUÍMICO

Existe una creciente necesidad de preservar el medio ambiente. La sociedad es cada vez más consciente y demanda calidad en la producción de los productos consumidos (Brighenti y Brighenti, 2009).

Para cumplir estas expectativas es necesario reducir los impactos generados sobre los recursos naturales, con el objetivo de favorecer la sustentabilidad, buscando reducir el uso de herbicidas con una tendencia a su eliminación. De esta forma, ha aumentado el interés por investigar sobre alternativas al control químico de malezas y sobre cómo integrar diversos métodos de manejo (Brighenti y Brighenti, 2009).

El uso desmedido de los herbicidas ha sido favorecido por múltiples factores, entre ellos por el aumento de la población y las necesidades de incrementar y desenvolver nuevas formas de producción. Luego de la década de los 90, se agudizó la dependencia a estos productos en el control de malezas, donde antes predominaba el control mecánico.

Como consecuencia, algunas especies disminuyeron sensiblemente, mientras que otras no solo aumentaron, sino que se volvieron más competitivas, desarrollando resistencia a algunas sustancias químicas (Constantin, 2011). Heap (2021), sostiene que en la actualidad 263 especies de malezas son reportadas como resistentes a 167 herbicidas diferentes y a 23 sitios de acción.

La resistencia es la capacidad de determinados biotopos de una especie para sobrevivir después de recibir dosis que eran letales (Fisher, citado por Félix y Urioste, 2016). Es heredable y se produce por el uso reiterado de determinado herbicida, lo que provoca la pérdida de eficiencia del mismo, el cual en condiciones normales ejercería un control adecuado (Taberner, 2007).

El proceso de selección es continuo y dependiente de las prácticas que adopte el agricultor (FAO, s.f.). Deben ser tomadas ciertas medidas que permitan reducir el uso de herbicidas, y conlleven a disminuir la presión de selección y por ende prevenir o retardar la aparición de resistencia.

Para eso se recomienda la rotación de cultivos, un manejo adecuado de herbicidas (teniendo en cuenta la frecuencia de su utilización y mecanismo de acción), prevenir la diseminación de semillas, monitorear la evolución inicial de resistencia y la aparición de nuevas especies con resistencia (Karam, 2007).

Algunas medidas anteriormente descritas, como la rotación de cultivos y prevención de la diseminación de semillas difícilmente se pueden aplicar a la forestación. Esto se debe a que son rotaciones largas, y el control de malezas solamente se hace durante los primeros años. Por lo que la principal medida a tener en cuenta para prevenir la resistencia estará dada por el buen uso de los herbicidas.

El control químico es una tecnología útil que constituye una importante herramienta de manejo en el corto plazo, cuando es bien empleado. Sin embargo, puede generar problemas en el mediano y largo plazo (Constantin, 2011).

Según Deuber, citado por Constantin (2011) la combinación de diferentes métodos y prácticas culturales, se denomina manejo integrado. Tiene como objetivos aumentar la eficiencia, hacer un uso correcto de los recursos disponibles, reducir costos, maximizar la seguridad para el hombre y disminuir la contaminación ambiental.

Generalmente un único método de control no es suficiente para resolver el problema de infestación de malezas. Es por lo tanto indispensable la integración de los métodos de control en un programa de manejo de malezas, el cual debe variar y adecuarse a las diferentes situaciones encontradas a nivel de campo.

De esta forma, es pertinente complementar el control químico con otros métodos de manejo, como por ejemplo culturales, biológicos, mecánicos y físicos. Es posible que así el control químico sea más efectivo y utilizable por un mayor período de tiempo (Constantin, 2011).

Adicionalmente, las empresas forestales que certifican sus montes ante Forest Stewardship Council® (FSC), están comprometidas con la problemática ambiental. La misma es una organización independiente, no gubernamental, sin fines de lucro, que promueve la gestión responsable de los bosques en todo el mundo.

Contar con esta certificación es importante ya que les proporciona una imagen institucional, les aporta más confiabilidad a sus productos y les permite acceder a mercados más exigentes (Ferrer y Lirola, 2012).

Se realizan auditorías frecuentes para asegurarse de que las empresas cumplan con los criterios y principios impuestos por la organización (Ferrer y Lirola, 2012). Uno de los principios establecidos está relacionado al uso de químicos.

El FSC tiene una política de pesticidas que busca reducir y eliminar de forma progresiva el uso de productos químicos, y crea una clasificación para identificar PAP (pesticidas altamente peligrosos) según el riesgo que representan por sus características tóxicas para los seres humanos y el medio ambiente. Los agrupa en: PAP prohibidos, PAP de uso muy restringido y PAP de uso restringido (FSC, 2019).

El grupo de pesticidas prohibidos no pueden ser utilizados en la actualidad. Dentro de los muy restringidos y restringidos el objetivo es que disminuya la frecuencia con que son utilizados, el alcance y la cantidad de aplicaciones (FSC, 2015), comprometiéndolos a que en un futuro próximo pasen a ser prohibidos.

Estos motivos son lo que impulsan a las empresas y otras organizaciones a buscar alternativas efectivas y más amigables con el ambiente. Es necesario el desarrollo y evaluación de diferentes opciones, que sean viables y que constituyan en un futuro nuevos métodos de control.

Uno de los motivos por lo cual es importante el estudio de alternativas, es la falta de información científica sobre los métodos no químicos y su menor desarrollo tecnológico para el control de malezas (Lacasta, 2003).

2.4. MÉTODOS DE CONTROL DE MALEZAS

Las medidas que pueden ser tomadas para realizar el control de malezas se pueden dividir en métodos culturales, preventivos, físicos, mecánicos, biológicos y químicos. El químico ya fue descrito anteriormente, por ser la herramienta de control más utilizada.

Se describirán a continuación diferentes medidas disponibles ya utilizadas en la actualidad, y otras que están empezando a ser consideradas, y aún están en proceso de evaluación y desarrollo. Algunas de estas alternativas, fueron las evaluadas en este trabajo de tesis.

2.4.1. Control cultural

Consiste en el uso de prácticas culturales teniendo en cuenta características del cultivo y del ambiente para favorecer el desarrollo de las plantas de interés, aumentar su competitividad y así contribuir al control de las malezas (Karam 2007, Constantin 2011, Ferreira da Silva et al. 2018).

Busca brindarle al cultivo las condiciones favorables para que su establecimiento sea lo más sano, rápido y vigoroso posible desarrollando así un alto poder de competencia, lo que disminuye la colonización e interferencia de las malezas (Constantin, 2011). También permite disminuir la infestación en años siguientes, al reducir el banco de semillas del suelo (Ferreira da Silva et al., 2018).

Dentro de las medidas silviculturales que pueden ser utilizadas, se destacan la elección de especies forestales o clones adaptados a las condiciones en que serán utilizados. Ajustar la densidad, marco y fecha de plantación (Filho, 2000). Otras medidas que pueden ser consideradas son la fertilización, el uso de coberturas, abonos verdes o cultivos en la entrefila de la plantación (Sousa Silva et al., 2017).

2.4.1.1. Ácido acético

El ácido acético se encuentra naturalmente en el vinagre y puede ser considerado como un herbicida natural. Los ingredientes de herbicidas naturales se caracterizan por ser sustancias químicas simples, naturales, de perfil toxicológico y ambiental positivo (Giepen et al., 2018).

El vinagre actúa por contacto, ingresa a través de la cutícula de las hojas y actúa dañando las células, rompiendo la membrana celular, afectando su permeabilidad. Estos daños conducen a una interferencia total en el funcionamiento del metabolismo de la planta, lo que da como resultado la muerte de las células (Giepen et al., 2018).

La eficiencia del control de malezas con ácido acético, es dependiente de factores que están relacionados al herbicida natural, factores relacionados a la vegetación presente y otros relacionados a las condiciones ambientales al momento de aplicación.

Se ha demostrado en diversos estudios, una correlación del volumen y concentración de ácido acético en la eficiencia de control. Estos factores son críticos y determinantes para maximizar el control (Evans y Bellinder, 2009).

Webber et al. (2018) concluyeron que al aumentar la concentración del ácido de un 5 a un 20% aumentó el control. Lo cual concuerda con Arce (2001), que sostiene que el aumento de la acidez causa mayores daños en la planta.

Daniels y Fults, citados por Abouziena et al. (2009) concluyeron que utilizando ácido acético a una concentración de 5% no se obtuvieron resultados confiables, mientras que las concentraciones de 10, 15 y 20% lograron un control entre 80 y 100% de las malezas.

Evans y Bellinder (2009), sostienen que, a mayores volúmenes, será más efectiva la aplicación. Utilizando una misma concentración se logró un 83% de control al aplicar 636 l/ha, disminuyendo a 62% cuando se aplicó la mitad de ese volumen.

En cuanto a la vegetación Arce (2001), Abouziena et al. (2009), Alvarado et al. (2016), Webber et al. (2018), coinciden que el control es más efectivo en malezas de hoja ancha que en gramíneas y ciperáceas. Según Alvarado et al. (2016) su utilización prolongada podría modificar la composición de las malezas, predominando las gramíneas y ciperáceas.

Estas diferencias se atribuyen a características morfológicas de las plantas. El follaje de las malezas de hoja ancha está dispuesto horizontalmente por lo que interceptan más herbicida, lo que genera una mayor absorción y daño. En cambio, las gramíneas disponen sus hojas de forma vertical, lo que reduce el contacto con el producto (Arce, 2001). Particularmente en ciperáceas no existió control, posiblemente debido a que presentan una cutícula con mayor cantidad de cera lo que provoca el deslizamiento de la gota, reduciendo el contacto con la hoja (Doll y Shenk, citados por Arce, 2001).

En relación al estado de desarrollo de las plantas, el ácido acético fue más eficiente cuando se empleó en etapas tempranas. Evans y Bellinder (2009), concluyeron que al aplicar la misma dosis en las malezas con más de 6 hojas presentaron 14% menos de control. Mientras que cuando se apuntó a las malezas pequeñas proporcionó el mayor control (91%) y reducción de biomasa (93%).

Lo anterior coincide con Abouziena et al. (2009), Evans y Bellinder (2009), Evans et al. (2011), que sostienen que controlar malezas desde la etapa de cotiledón hasta la de seis hojas maximiza el control del ácido acético.

Los factores ambientales que influyen son la humedad relativa y la temperatura. Según Brainard et al. (2013) a medida que la humedad relativa aumenta del 50 al 100%, la eficiencia del herbicida aumenta en un promedio del 20 al 50%. Un aumento de 1 °C en la temperatura se asocia con un aumento del 0,93 al 1,7% en el control.

Los efectos de la aplicación son rápidamente visibles, sin embargo, el ácido acético no tiene actividad residual por lo que la duración del control es limitada (Evans et al., 2011).

Según Montero (2014), la desecación de las plantas ocurre en los primeros tres días posteriores a la aplicación, mientras el control aumenta progresivamente, llegando al máximo a 72 horas. A los cinco días, observaron una recuperación de la planta, a excepción de las que recibieron las dosis más altas. En comparación con el glifosato, Domenghini (2020) determinó que el ácido acético inicialmente controló las malezas más rápido, pero la duración del período de control fue menor.

Este herbicida natural no es sistémico. La acción desecante a dosis bajas, no tiene efecto en las raíces y la planta puede recuperarse a partir de los tejidos que no fueron afectados (Montero 2014, Giepen et al. 2018).

Alvarado et al. (2016) concluyeron que la concentración de 20% con un volumen de 600 l/ha produjo desecación de la planta entera, dañando el sistema radicular. Webber y Shrefler, citados por Alvarado et al. (2016), sostienen que, a esa misma concentración, entre 200 y 400 l/ha, produce un secamiento solamente en la parte aérea de la planta.

Su modo de acción no es selectivo y el efecto desecante ocurre al tener contacto sobre cualquier vegetal (Alvarado et al., 2016). Esto representa una limitante ya que dependiendo la forma de aplicación puede afectar las plantas cultivadas. Evans et al. (2011), observaron una disminución en el rendimiento de un cultivo por daños ocurridos al momento de la aplicación y no por la competencia de las malezas.

El alto costo, sumado a las restricciones y el peligro que representa transportar este producto a altas concentraciones es otra de las limitantes (Giepen et al., 2018).

Alvarado et al. (2016) sostienen que el ácido acético puede ser integrado con otros métodos de manejo. Arce (2001), Montero (2014) demostraron que el uso del mismo no afecta el pH del suelo ni la flora microbiana. Combinarlo con herbicidas convencionales puede resultar en un aumento de su funcionalidad, reduciendo el impacto y promoviendo un manejo más equilibrado (Alvarado et al., 2016).

2.4.2. Control físico

El control físico implica la utilización de la fuerza física para controlar las malezas, ya sea de forma manual o mecánica, mediante el uso de diversas herramientas (TNAU, 2013).

Algunos utilizan la temperatura para el control, como por ejemplo el fuego, solarización, agua caliente, radiación o vapor (Riemens, 2016). Otras formas de control físico implican el uso de la electricidad (Ferreira da Silva et al., 2018). También se consideran dentro de éste, las coberturas que funcionan como una barrera física a la emergencia de nuevas plantas.

2.4.2.1. Agua caliente y espuma utilizadas en Foamstrem

Foamstream es una tecnología desarrollada para el control de malezas por la empresa Weedingtech en Reino Unido. Es una forma de control térmico, el cual utiliza un equipo especialmente diseñado para aplicar agua caliente directamente al suelo, que combinado con azúcares y aceites vegetales naturales forman una espuma biodegradable (Weedingtech, s.f.).

El ingrediente activo es el calor que desprende el agua caliente (Weedingtech, s.f.). Las altas temperaturas son letales para los tejidos vegetales, y provocan una alteración en los procesos fisiológicos (Bajwa et al., 2015). Entre ellos está la pérdida de ruptura de la membrana, desnaturalización de enzimas y proteínas, lo que provoca un desecamiento en la planta ya que la misma no puede retener la humedad (Collins, 1999). Además, ocurre una inhibición de la fotosíntesis y del desarrollo vegetativo y reproductivo (Peerzada y Chauhan, 2018).

La espuma funciona como aislante, garantizando que el calor desprendido no se pierda a la atmósfera rápidamente y que cubra a la planta durante un período de tiempo suficiente como para ingresar a las hojas, circular por tallo y raíces hasta matarla o dañarla gravemente (Weedingtech, s.f.). Kempenaar y Spijker, citados por Peerzada y Chauhan (2018), afirmaron que la adición de espuma aumentó la eficiencia de este sistema.

El uso de la espuma permite aumentar el tiempo y el área de intercambio de calor, lo que garantiza que la temperatura alrededor de las malezas sea relativamente estable (Wei et al., 2010). La mezcla de la espuma con el agua representa una evolución del método térmico, lo cual beneficia la transferencia de energía a las plantas aumentando la eficiencia de control (Martelloni et al., 2019).

El efecto del control es una función de la relación entre el tiempo de exposición y la temperatura a la cual serán sometidas las plantas, lo cual varía considerablemente con las especies presentes (Collins, 1999).

Weedingtech (s.f.), considera letales las temperaturas mayores a 57 °C, y sostiene que cuanto más tiempo esté en esa zona mortal más eficiente será el control.

Levitt, citado por Collins (1999), sostiene que a 40 °C aproximadamente, ocurre la desnaturalización de las células y a medida que aumenta la temperatura, el tiempo necesario para matar a las plantas disminuye exponencialmente.

Otros autores concluyen que la temperatura crítica para la mortalidad efectiva de las hojas varía de 55 a 70 °C y un rango de tiempo de exposición de 65-130 milisegundos. El calor se disipa fácilmente, por lo que sostienen que es necesario que la temperatura de aplicación sea mayor a la crítica, para que el gradiente logre impulsar el calor hacia la planta (Ascard, citado por Collins, 1999).

Los modelos de maquinaria que ofrece la empresa para aplicar la tecnología trabajan a una temperatura de 98 °C y una presión de 12 bares (Weedingtech, s.f.).

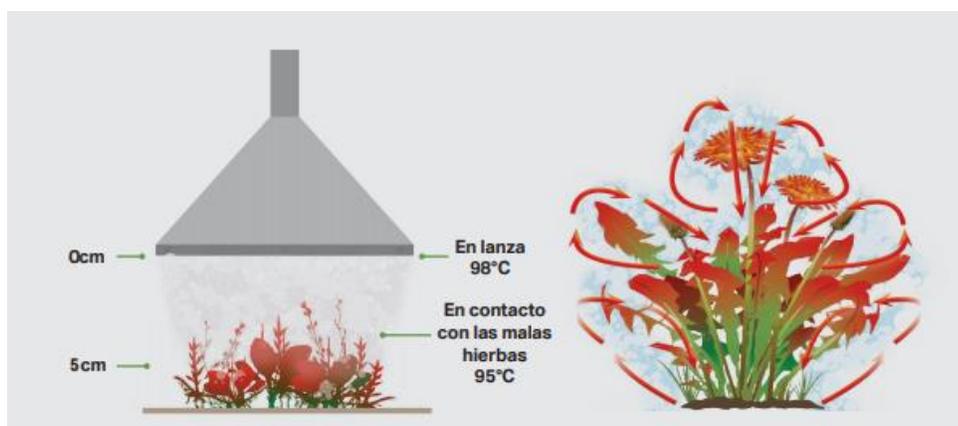


Figura No. 1. Esquema representativo del funcionamiento de la máquina Foamstream

Fuente: tomada de Weedingtech (s.f.).

El modelo M1200, utilizado en este trabajo, está diseñado para ofrecer alto rendimiento y tratar superficies grandes en torno a zonas rurales y urbanas. Contiene un depósito de agua con una capacidad de 780 litros y un depósito de espuma de 22 litros. Presenta una tasa de flujo de 12 litros por minuto y un rendimiento que varía en función de la densidad de la vegetación presente, cuando es baja cubre 700 m², y cuando es alta 420 m² por hora (Weedingtech, s.f.).

Determinados factores relacionados a la maleza y a las condiciones climáticas antes y durante la aplicación influyen sobre la efectividad de control.

Hansson y Ascard (2002), mostraron que el estado fenológico de la planta influye en la energía requerida para su control. La dosis de energía requerida para controlar la maleza en la etapa de dos hojas requiere la mitad de la energía utilizada en la etapa de seis hojas, para una reducción del 90% en el peso de la planta.

El agua caliente se ha considerado un método eficaz para controlar malezas anuales y también restringen el crecimiento de malezas perennes (Peerzada y Chauhan, 2018).

Daar, citado por Hansson y Mattsson (2003), De Cauwer et al. (2016), sostienen que las malezas perennes más maduras requieren tratamientos repetidos para lograr un agotamiento de los órganos de reserva.

Las malezas de hoja ancha responden mejor al tratamiento con agua caliente en comparación con gramíneas. En general, los pastos fueron menos sensibles debido a que tienen las hojas más erectas y menos área foliar, lo que dificulta la retención de agua (De Cauwer et al., 2016). También concluyeron que plantas que presentan menor superficie foliar son más difíciles de calentar.

La variación diurna influye en la sensibilidad térmica de las malezas. Según Hansson y Mattsson (2003), plantas con bajo contenido de agua requieren menos energía para calentarlas por encima de su temperatura letal. Por lo tanto, responden mejor a la aplicación de agua caliente cuando es realizada por la tarde, cuando ya disminuyeron su contenido de agua por transpiración.

El control de malezas con agua caliente debe llevarse a cabo cuando las plantas están estresadas por la sequía y evitarse cuando las plantas están mojadas (Hansson y Mattsson, 2003).

El agua libre sobre las hojas genera que se necesite más energía para aumentar la temperatura. Hansson y Mattsson (2003), concluyeron que condiciones de lluvia antes y durante la aplicación del tratamiento afectan la efectividad del mismo. Por otro lado, en condiciones de sequía las plantas lograron pesos frescos más bajos, lo que representa mejores resultados.

Daar, citado por Hansson y Mattsson (2003), concluyeron que las temperaturas del aire en un rango de 7 a 18 °C no generan variaciones en los resultados del control. Hansson y Mattsson (2003), aseguraron que cuando la temperatura del aire es baja es necesario aumentar la energía requerida para el control, a diferencia de días cálidos donde no es necesario dicho aumento.

Según Bertram, citado por Hansson y Mattsson (2003), condiciones climáticas posteriores a la aplicación del tratamiento influyen en la capacidad de rebrote de las malezas lo que estaría influenciando la duración del control.

Foamstream dispone de dos mezclas de espuma, una compuesta por una combinación de ingredientes que incluyen trigo, maíz, aceite de coco, aceite de colza y papa, y otra espuma basada en aceite de oliva (Weedingtech, s.f.).

Martelloni et al. (2019) determinaron que la dosis de espuma aplicada puede interferir en la eficiencia de control. Dosis entre 3,33 l/m² a 8,33 l/m² fueron las más efectivas para controlar las malezas. Las dosis más altas, llevaron a un rebrote más lento de las malezas a diferencia de dosis más bajas, que mantuvieron un menor control.

Luego de las aplicaciones los síntomas se pueden ver ya que los pigmentos verdes pasan a tonalidades marrones logrando el desecamiento total de la planta. Estos efectos se pueden observar más rápido cuando las dosis usadas son mayores, llegando al máximo control a los tres días (Martelloni et al., 2019).

Weedingtech (s.f.), Peerzada y Chauhan (2018), sostienen que el agua caliente es uno de los métodos más seguros y sencillos. Presenta un amplio espectro y además de controlar malezas ha sido eficaz para afectar la germinación de las semillas y esporas contribuyendo a disminuir el rebrote. Ribeiro et al., citados por Peerzada y Chauhan (2018), sostienen que el calor influye en la viabilidad, latencia y germinación de las semillas.

Su principal desventaja es el gran gasto de agua que requiere para su aplicación. Según Collins (1999), se necesita aplicar alrededor de 24.000 a 30.000 litros en una hectárea, cantidades poco prácticas para su uso en la agricultura o cualquier sistema.

El director comercial de Weedingtech, Thomas Hamilton, en una entrevista señala: *“Hay que tener en cuenta el costo de capital de la maquinaria. La mayoría de los operadores adoptan un enfoque integrado por fases para sus programas de manejo de malezas (...) La estrategia a lo largo del tiempo es deshacerse del glifosato con una alternativa rentable y Foamstream se ajusta perfectamente a las instrucciones”* (Drury, 2020).

La tecnología Foamstream se ha implementado en diversos países, utilizándose en la actualidad en cuatro continentes (Symonds, 2020). Ha surgido para afrontar limitantes funcionales en el control de malezas y buscando un modo de vida más sustentable y respetuoso con el medio ambiente. El proceso fue desarrollado para ayudar a las organizaciones a navegar el cambio para reducir o eliminar los herbicidas de sus programas de manejo de la vegetación (Weedingtech, s.f.).

Muchos gobernadores han tomado la iniciativa de prohibir y reducir el uso de químicos. En Uruguay las Intendencias de San José y Montevideo, han tomado esta iniciativa (Intendencia de Montevideo 2020, Intendencia de San José 2020). Particularmente la Intendencia de Maldonado ha recurrido a Foamstream como una alternativa libre de herbicidas para controlar malezas, musgo y algas en calles, plazas y demás zonas públicas de la ciudad (Intendencia de Maldonado, 2019).

2.4.2.2. Liquid mulch

Una práctica muy usada para el control de malezas antiguamente en la agricultura era el uso de coberturas del suelo (mulchs). Los materiales que se usaban eran de diversos orígenes, como rastrojos de cultivos, follajes de árboles y abonos verdes. Siendo los más comunes las coberturas con láminas de plástico.

Esta práctica consiste en cubrir el suelo desnudo, y se aplica luego de la emergencia de los cultivos. La aplicación de mulchs en la producción agrícola tiene considerables ventajas sobre el rendimiento del cultivo y en la conservación del suelo (Kolmans y Vásquez, 1999).

En las prácticas que tienen fundamento ecológico el mantillo utilizado debe ser de origen orgánico (Erenstein, 2003).

Para superar las desventajas del uso de plásticos y sus problemas para desecharlo, se creó el Liquid mulch, un producto formado de partículas orgánicas el cual se extiende sobre el suelo formando una capa dura y duradera (Pole y Carnell, 1987).

El mismo, se distribuye sobre la superficie del suelo donde está ubicada la planta de interés con el objetivo de evitar la germinación de las semillas de malezas presentes en el banco de semillas del suelo.

En un estudio realizado por Shen y Zheng (2017), se determinó que con el uso de Liquid mulch se redujo entre un 61% y 97% las emergencias de malezas. Según la experiencia los autores sostienen que el mantillo líquido es fácil de aplicar y se extiende homogéneamente por la superficie del sustrato.

Para la aplicación del producto es necesario retirar las malezas presentes, ya que el objetivo del mismo es evitar la germinación, pero no interfiere sobre el crecimiento de las malezas ya instaladas. También es necesario aplanar la superficie del suelo para que la capa de Liquid mulch se

extienda de forma homogénea y el mismo actúe eficientemente, para obtener este resultado se pasa un rodillo pesado.¹

El producto comercial utilizado en la instalación de esta tesis es importado de Canadá. El mismo está formado por un 3% de polisacáridos, 12% de celulosa y 85% de agua. Para su aplicación es diluido en agua en una proporción variable, generalmente se utiliza la proporción de dos partes de agua y una parte de producto.¹

Después de aplicado el Liquid mulch se endurece, y luego de alcanzado ese estado el mismo permanecerá sólido, aunque se exponga al agua proveniente de riegos o lluvias, representando una limitante física para la germinación (Shen y Zheng, 2017).

El grosor de la capa es muy variable, depende de las proporciones utilizadas en la preparación de la mezcla y también de la aplicación.¹

Además de influir en la germinación de las malezas, lo cual reduce el uso de herbicidas, esta práctica tiene otros beneficios asociados, relacionados a la conservación del suelo (Erenstein, 2003).

La cobertura formada actúa disminuyendo los riesgos de erosión que tiene el suelo desnudo, ya que amortigua la lluvia evitando la desagregación y la formación de encostramiento (Kolmans y Vásquez, 1999).

Varias propiedades del suelo se modifican con la incorporación de mulchs al cultivo. Por ejemplo, la humedad, temperatura, el contenido de materia orgánica y el pH.

Kumar et al. (2014) encontraron que aumentó la humedad relativa del suelo con la aplicación de mulchs. Lo cual coincide con Kolmans y Vásquez (1999), que atribuyen ese efecto a la reducción de la evaporación.

La cobertura cumple una función de termorregulación ante los cambios de temperatura del suelo, esto sumado al efecto que tiene sobre la humedad del mismo favorece a los organismos del suelo (Kolmans y Vásquez, 1999).

Esos factores pueden reducir el estrés ambiental, y proporcionar a los árboles mejores condiciones en la zona de las raíces para su desarrollo (ISA, 2011).

En cuanto a los cambios de pH, Billeaud y Zajicek (1989), encontraron que sin importar el tipo de cobertura el pH del suelo siempre disminuye.

¹ Santini, P. 2020. Com. personal.

2.4.2.3. Descarga eléctrica

El control de malezas a través de la descarga eléctrica ha sido aplicado con éxito a nivel comercial recientemente, se encuentran registros de estudios y referencias bibliográficas sobre el tema desde la década de 1950 (Brighenti et al., 2018).

El avance tecnológico de este método ha ocurrido principalmente por iniciativas privadas en Reino Unido y en Brasil. A lo largo de los años fueron adaptando y mejorando los equipos de aplicación, los cuales tienen como objetivo garantizar que las malezas consuman la cantidad de energía eléctrica suficiente que permita su control (Brighenti et al., 2018).

El sistema de descarga, se basa en el contacto directo de los electrodos con la planta a ser controlada. Mizuno, citado por Brighenti et al. (2018) en observaciones al microscopio verificó que la corriente fluye a través de los tallos y raíces al aplicar alto voltaje, y que ocurren daños considerables en las células.

Cuando la descarga toca la maleza, provoca una alteración irreversible en la fisiología de la planta, y estas se marchitan y mueren al poco tiempo (Brighenti y Brighenti, 2009).

Está comprobado que cuanto mayor es el voltaje con que se aplica la descarga, mayor es la eficiencia en el control de malezas ya que estas van perdiendo su vitalidad (Diprose et al. 1984, Sahin y Yalınkılıç 2017).

Sahin y Yalınkılıç (2017), determinaron que, a 100 voltios semillas germinadas perdían su viabilidad cerca de 70%, mientras que cuando aplicaban 200 y 300 voltios se terminaba la actividad vital cercana al 100%.

Diprose et al. (1984), al aplicar un voltaje de 50-100 voltios observaron que muchas corrientes pequeñas atraviesan la planta, pero cuando se aplican entre 5 – 15 kV (5000 – 15000 voltios) el valor de la corriente aumenta y las plantas se destruyen rápidamente.

Hay una clara relación entre el voltaje y el tiempo de aplicación. Aumentar la energía utilizada, significa una disminución del tiempo de tratamiento (Diprose et al., 1980). De la misma forma que al aplicar bajo voltaje, se obtienen mejores resultados cuando se aplica durante un tiempo más prolongado (Sahin y Yalınkılıç, 2017).

Mizuno et al., citados por Brighenti y Brighenti (2009) señalan que en malezas de menor porte (4-6 cm de altura y 1-3 mm de diámetro a la altura de cuello), lograron un control eficiente con una descarga de 135 mJ mientras que para malezas de mayor porte (80-120 cm y 10-15 mm de diámetro a la altura de cuello) necesitaron 15 kV para lograr un control satisfactorio.

A su vez, plantas con raíces múltiples pueden requerir que la descarga sea aplicada en más de un punto para permitir que todas las raíces sean eliminadas (Zasso, 2019).

Por otro lado, Brighenti et al. (2018), sostienen que un ensayo desarrollado en el Instituto Agronómico de Campinas (IAC) se demostró que la humedad del suelo también aumentó la eficiencia de la descarga, ya que determina la resistencia eléctrica total del sistema y hace menor el consumo de energía realizado por las plantas y el suelo.

Teniendo en cuenta lo señalado anteriormente y de acuerdo con Sahin y Yalinkilic (2017), como la corriente que fluye a través de la planta puede variar dependiendo de las resistencias eléctricas, es posible concluir que el voltaje y la duración de la aplicación deben ser adecuados en cada situación. Considerar también el nivel de desarrollo de la maleza, la densidad, el número de puntos de contacto, son medidas que estarán determinando en gran parte los resultados obtenidos.

El sistema Electroherb de control de malezas con descarga eléctrica desarrollado por el grupo Zasso, representa una alternativa viable y promisorio. Se caracteriza por ser un proceso físico, sistémico y de amplio espectro, funcionando solo con las plantas que están en contacto directo con los electrodos (Zasso, s.f.)

Brighenti y Brighenti (2009), sostienen que en un cultivo orgánico de soja el control de malezas con descarga eléctrica en la entrefila fue eficiente mediante el uso de esta tecnología.

El modelo IZI de deshierbe eléctrico manual evaluado en la tesis, para su funcionamiento utiliza tres electrodos (llamados aplicadores). Zasso (2019), explica que cuando el electrodo activo (A) entra en contacto con las hojas de la planta, la corriente eléctrica fluye atravesando tallo, raíz y se une con los electrodos tierra (B) que están en contacto con el suelo, cerrando el circuito eléctrico (Figura 2).

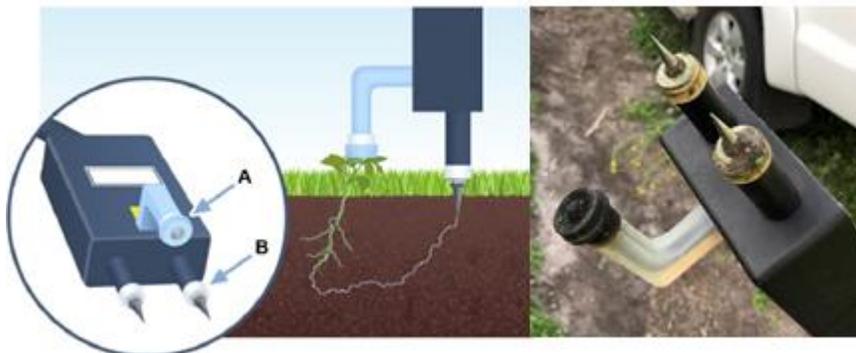


Figura No. 2. Esquema representativo del funcionamiento del equipo IZI

Fuente: tomada de Zasso (2019).

Esos aplicadores que ofrece el equipo pueden ser de dos tipos, “penetrador” (A) o “enfocado” (B), que se representan en la Figura 3 a continuación. En el electrodo delantero activo, debe utilizarse siempre el tipo “enfocado” para una aplicación eficiente, independiente del tipo de maleza o suelo. En los electrodos tierra, posteriores, pueden utilizarse ambos. La disposición de estos puede variar, en función de las condiciones del suelo donde la descarga es aplicada (Zasso, 2019).



Figura No. 3. Aplicadores del modelo IZI que provocan la descarga eléctrica

Fuente: tomada de Zasso (2019).

Debido a estas características de operación del equipo, el modelo IZI es recomendado para zonas urbanas como parques, jardines, campos deportivos donde la presencia de plantas no deseadas ocurre en áreas pequeñas o en puntos aislados y no para grandes superficies.

Este método de controlar malezas presenta algunos beneficios importantes. Según Brighenti et al. (2018), desde el punto de vista ambiental, no representa una amenaza por contaminación al no utilizar ningún tipo de sustancia química en el proceso, apenas el medio físico de electrocución.

La empresa Zasso ha demostrado su responsabilidad con el medio ambiente, realizando estudios ecotoxicológicos voluntariamente para investigar posibles efectos sobre los microorganismos del suelo. En Collembolas y lombrices de tierra en condiciones normales de operación, no observaron efectos significativos sobre la población, pero sí observaron efectos negativos utilizando un nivel de energía por encima del que utiliza una operación normal. Concluyeron, que el suelo, sirve como conductor y disipa la energía minimizando la corriente eléctrica y la diferencia de potencia que enfrentan estos organismos (Zasso, s.f.).

Esto coincide con Diprose et al. (s.f., 1980), que sostienen que el daño ocurre al pasar los electrodos dentro de las plantas (la electricidad no puede ser arrastrada por la lluvia a plantas o zonas circundantes). La energía aplicada se disipa inmediatamente en forma de calor por lo que el sistema no perturba el suelo, no presenta deriva, ni deja residuos. Además, el material vegetal tratado se seca en el sitio, manteniendo el hábitat de los organismos que allí habitan (Zasso, s.f.).

El efecto de la aplicación de esta tecnología y los síntomas en las plantas son inmediatamente visibles. Hecho que ha sido más observado en plantas con gran estructura foliar y estructuras radiculares relativamente pequeñas (Brighenti et al., 2018).

La aplicación de métodos eléctricos posterior a la aplicación de un control mecánico permite reducir significativamente la infestación de malezas, ya que debilitan el crecimiento de nuevos brotes y dañan el sistema de rizomas y órganos subterráneos. Considerándose una característica particular del método, ya que estos órganos vegetativos difícilmente son dañados (Diprose et al., s.f.)

Otra ventaja fundamental es que ha sido comprobada su eficacia en el control de plantas que presentan resistencia a herbicidas. Ejemplos de esto lo son *Commelina benghalensis* L. en un cultivo de café, donde se logró un control de 95% de la población (Fundação Procafé, citado por Brighenti et al., 2018)

Más recientemente, según Brighenti et al. (2018), estudios confirmaron la alta sensibilidad de “carniceras” (*Conyza* spp.) en avanzado estado de desarrollo frente a este método de control, logrando una alta eficiencia y atribuyéndole un posible motivo a la alta relación entre la estructura foliar y estructura radicular.

La descarga eléctrica puede utilizarse en diversas condiciones, por ejemplo, en suelos inviabilizados, o demasiados húmedos, lo que proporciona una mayor versatilidad a la hora de elegir las medidas de control de malezas (Diprose et al., s.f.).

Los equipos de aplicación son sencillos, y pueden ser adaptados para el uso con tractor. Sin embargo, necesita gran cantidad de energía. Según Diprose et al. (1980) si investigaciones muestran que el costo y el número de hectáreas que se pueden tratar por hora son razonables, los métodos eléctricos podrían llegar a ser muy eficaces.

2.4.3. Control mecánico

El control mecánico implica remover, enterrar o matar físicamente la vegetación existente. Puede ser manual o mecánico mediante el uso de equipos.

La extracción manual de malezas es la más antigua de todos los métodos. Es eficaz, proporciona un buen control lo cual se ve reflejado en el crecimiento de las plantas (Mc Donald et al., 1994). Sin embargo, presenta algunas desventajas al ser un método lento, costoso y difícil de implementar en grandes superficies o de alta infestación (Constantin, 2011). Se pueden utilizar herramientas como azadas y similares.

El mecanizado consiste en la utilización de maquinaria pesada como, por ejemplo, rastra y pastera. Es ampliamente utilizado por su bajo costo, eficiencia en el control y velocidad, especialmente en áreas extensas (Toledo, citado por Sousa Silva et al., 2017).

La adquisición de estas herramientas es más costosa, y su uso está limitado a determinadas condiciones de clima, suelo y topografía. En ocasiones puede tener impactos negativos potenciales como la exposición del suelo a la erosión y también la formación de compactación (Richardson, 1993).

Su control es efectivo para el caso de malezas anuales, e ineficiente con plantas que se reproducen vegetativamente. El control rompe la relación entre raíz y suelo, suspende la absorción de agua y expone la raíz a condiciones ambientales desfavorables (Silva et al., citados por Oliveira y Brighenti, 2018). Presenta dificultades para controlar malezas presentes en la fila de plantación, y además su aplicación puede causar daños radiculares al cultivo.

Según Van der Weide et al. (2008), continúan desarrollándose nuevas tecnologías para ser utilizadas dentro del control mecánico producto de la constante demanda para la agricultura orgánica. Tecnologías que serán más inteligentes, sustentables, y que incluso permitirán controlar malezas de mayor tamaño eficientemente, sin afectar las plantas de los cultivos.

2.4.4. Control biológico

El control biológico permite eliminar, reducir y/o mantener baja la población de malezas mediante el uso de organismos naturales como insectos, hongos, bacterias, ácaros y animales (Constantin, 2011). Actúan sobre la maleza alimentándose de su masa vegetal o causando enfermedades que determinan su muerte (Evans, citado por Cock, 1996).

Se pueden dividir en control biológico clásico o aumentativo, según el origen de los individuos. El clásico consiste en la introducción de enemigos exóticos en áreas donde no estaban presentes y el aumentativo consiste en aumentar la población para que actúen en su lugar de origen (Cock, 1996).

Una desventaja que presentan es que generalmente no actúan sobre especies de diferentes familias (Karam, 2007). De todas formas, es una alternativa factible desde el punto de vista económico, principalmente si puede ser producido localmente (FAO, s.f.).

Según Cock (1996), la utilización de este método implica estudios y autorizaciones a nivel nacional, y su liberación no es aprobada hasta que no se demuestre que no representa ningún tipo de riesgo.

Una vez que los organismos se establecen, se reproducen sobre las malezas, lo que perpetúa la acción de control. Pero existe la posibilidad que el mismo fracase por diversos motivos y no logre controlar efectivamente la maleza (Cock, 1996).

2.4.5. Control preventivo

Este método, tiene como objetivo prevenir la introducción, establecimiento y diseminación de nuevas especies de malezas. Según Karam (2007), la diseminación de malezas es producto de la actividad del hombre.

La prevención abarca todas las medidas tomadas para evitar la propagación de las malezas provenientes de otras áreas. Algunas pueden ser aplicadas por el productor, como la limpieza de la maquinaria agrícola, movimiento de animales y la utilización de semillas que no estén contaminadas, inspeccionadas o certificadas (Karam, 2007).

Además, existen aspectos legales que regulan el movimiento de materiales vegetales, determinando o imponiendo restricciones para la entrada en determinados territorios. Estas medidas que involucran al control preventivo según FAO (s.f.), son las de mayor importancia.

La prevención constituye la mejor forma de manejo de las malezas. La falta de aplicación de estas medidas y el desconocimiento de su importancia,

han contribuido a la amplia difusión de especies. Lo cual ha demostrado que el control es una estrategia más costosa (Ferreira da Silva et al., 2018).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se presentan los datos generales de los 3 experimentos y luego se detalla para cada uno, el diseño experimental, las alternativas evaluadas, metodología, determinaciones realizadas y análisis estadístico.

3.1. LOCALIZACIÓN

El trabajo fue realizado en la localidad de Carlos Reyles, Durazno en el establecimiento “El Chasque”, campo propiedad de la empresa Forestal Oriental S.A, ubicado sobre la ruta 4 km 231. Fue llevado a cabo durante el período comprendido entre julio y octubre de 2020, en un ensayo instalado en una plantación de otoño de *Eucalyptus dunnii* de origen seminal.

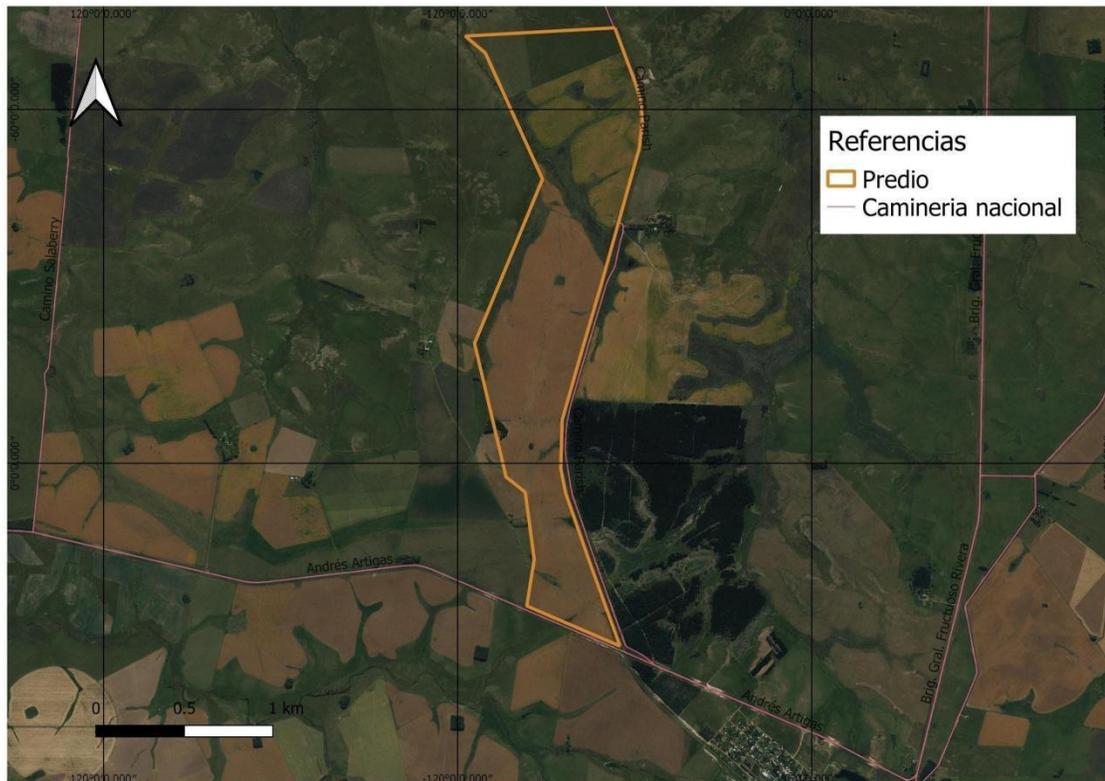


Figura No. 4. Polígono de “El Chasque”, donde se realizaron los experimentos

3.2. CONDICIONES EXPERIMENTALES

Las unidades de suelo predominantes en el predio, según la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay 1:1000000 son Unidad Bacacúa con suelos dominantes Brunosoles Subéutricos Dústricos Lúvicos, y Unidad Curtina

con Litosoles Éútricos Melánicos, Vertisoles Háplicos y Brunosoles Éútricos Típicos (Altamirano et al., 1976).

Los grupos CONEAT predominantes son 1.11a, 9.1, 9.5, 10.2, 12.13, 12.22, siendo el 9.5 el más predominante en cuanto a superficie. Estos suelos se caracterizan por presentar un relieve suavemente ondulado, con pendiente alrededor de 2% y laderas ligeramente convexas, que conforman lomadas suaves. Los suelos que corresponden a Brunosoles Subéútricos Lúvicos, son de color pardo muy oscuro a negro, con texturas predominantes franco arcillo arenosa a franco arenosa pesada, fertilidad media y drenaje moderadamente bueno a imperfecto.

La plantación se instaló el 17 de abril del 2020 en un sitio con historia agrícola. La densidad utilizada fue de 1500 plantas por hectárea y se realizó una fertilización inicial con multicote (4M). Previo a la instalación del ensayo los manejos realizados fueron control de malezas con una aplicación total de 2,4-D amina en octubre del año 2019. En febrero del 2020 se realizó un control de hormigas con fipronil granulado al 0,0003%. Previo a la plantación se realizó el control de malezas convencional que la empresa realiza pre plantación utilizando herbicidas en la fila de plantación.

Los registros de precipitaciones acumuladas (mm) desde un mes previo a la instalación de los experimentos hasta la última fecha de evaluación, se presentan por quincena en la Figura 5.

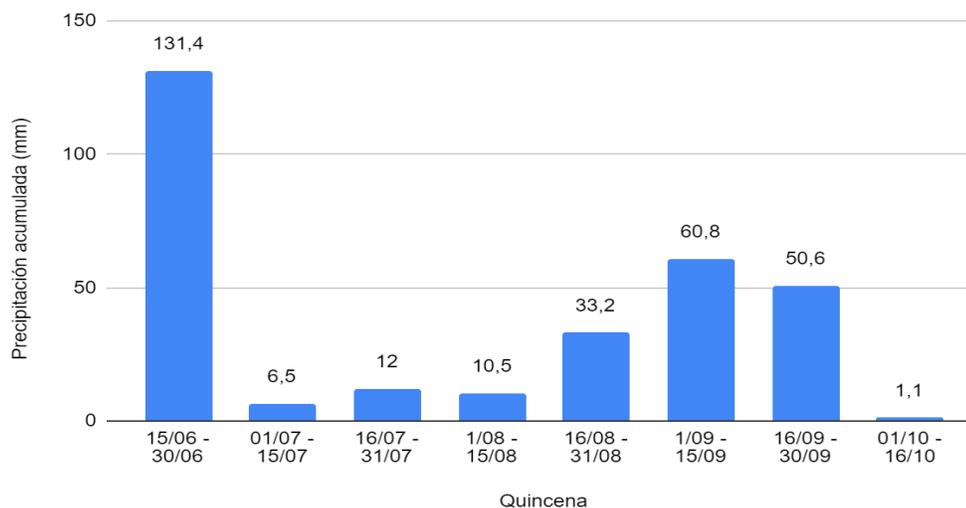


Figura No. 5. Precipitaciones acumuladas (mm) por quincena para la ciudad de Durazno, desde el 15/06 al 16/10

Fuente: elaborada en base a INUMET (2020).

Considerando que no se obtuvieron los datos para la variable temperatura media (°C) de la zona, estos fueron obtenidos de la Estación Experimental INIA Tacuarembó.

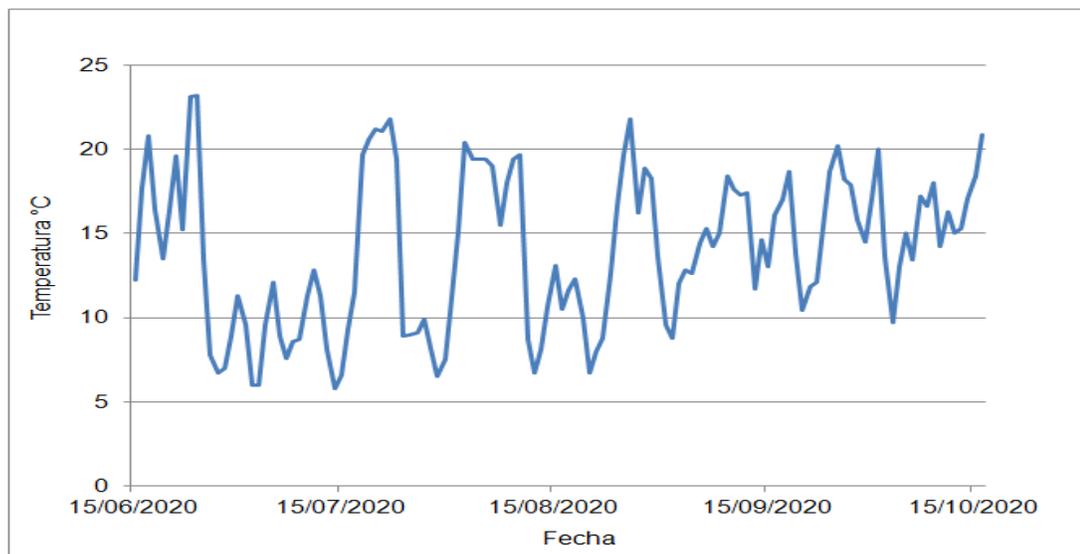


Figura No. 6. Temperatura media (°C) desde el 15/06 al 16/10

Fuente: elaborado en base a INIA. GRAS (2020).

3.3. EXPERIMENTO 1

3.3.1. Diseño experimental y alternativas

El diseño experimental fue un diseño en bloques completos al azar (DBCA) con cinco repeticiones. Siendo cada alternativa evaluada las descritas en el Cuadro 1. La unidad experimental correspondió a la parcela, la cual estaba formada por 1 fila con 10 árboles.

Cuadro No. 1. Descripción y fecha de instalación de las alternativas aplicadas en el experimento uno

| Alternativa | | Fecha de instalación |
|-------------|--------------------------------------|----------------------|
| A1 | Máquina de agua caliente (Foamstrem) | 21/07 |
| A2 | Ácido acético (al 30%) | 21/07 |
| A3 | Control operativo (herbicidas) | 21/07 |
| A4 | Descarga eléctrica (Zasso) | 06/08 |

| | | |
|----|---------------------------------------|-------|
| A5 | Testigo (sin control de maleza) | 15/07 |
| A6 | Liquid mulch previo pasada de rodillo | 15/07 |

3.3.2. Metodología

Las alternativas anteriormente mencionadas se aplicaron en la fila de plantación. La instalación se realizó en fechas diferentes, en función de la disponibilidad de los equipos.

Por tratarse de tecnologías bien diferentes, se describe los detalles de la aplicación de cada una en forma separada y exhaustivamente.

La alternativa 1 consistió en aplicación de agua caliente con una máquina de marca Foamstream, modelo M1200 (Figura 7) el cual se transportó sobre una camioneta. El equipo contiene una manguera de largo alcance (30 - 90 m) y un difusor mediante el cual se dispersa el producto sobre la superficie.



Figura No. 7. Equipo utilizado para aplicación de agua caliente

Fue aplicado solamente en tres bloques. La aplicación se realizó en un ancho de 50 cm para cada lado del árbol, dejando un radio de 10 cm sin aplicar alrededor del árbol para evitar los posibles daños que las altas temperaturas del agua pudieran causar sobre el mismo.

Se usaron 350 litros de agua por hora y 3,6 litros de aceite por hora, por lo que la concentración de aceite en agua en el caldo fue de 1%. El gasto de caldo total resultó en 354 litros por hora, lo que equivale a 5,89 l/min (datos aportados por la empresa responsable de gestionar el equipo). El tiempo de

aplicación promedio fue de 6,5 minutos por parcela. A partir de esto se estimó un volumen de aplicación de 22389 l/ha de producto promedio.

La alternativa 2 correspondió a la aplicación de ácido acético glacial al 99%, el cual fue diluido en agua para tener una concentración de 30%. El volumen de aplicación utilizado fue 150 l/ha.

Se aplicó en forma manual con mochila, la cual tenía una capacidad de 16 litros y trabajó a 2 bares de presión. La boquilla utilizada fue TTI 110015, la cual eroga gotas extremadamente gruesas.

Antes de comenzar, se calibró el equipo para ajustar el caudal, velocidad de aplicación, y el ancho de cobertura. El ancho de aplicación fue de 90 cm, y se estimó una cobertura efectiva del 70%. Por lo tanto, el ancho de aplicación efectivo fue de 0,60 m. Se cubrieron 1,2 m, con dos pasadas de aproximadamente 60 cm a cada lado del árbol.

La alternativa 3 correspondió al control operativo que realiza la empresa para el control de malezas. Se aplicaron herbicidas selectivos, preemergentes y postemergentes: haloxifop (Halaxy Full 1 l/ha), clopyralid (Cardex 480 SL 1 l/ha), isoxaflutole (Zethin 300 g/ha) y s-metolaclor (Alfamex 1,4 l/ha).

La aplicación fue realizada en forma manual con el mismo equipo que el ácido acético. Antes de comenzar se realizó nuevamente la calibración de los equipos para ajustar caudal, velocidad de aplicación, y el ancho de cobertura, los que ya fueron mencionados en la alternativa anterior. El volumen de aplicación en este caso fue de 116 l/ha.

En la alternativa 4 se utilizó la descarga eléctrica para el control de malezas, la cual fue aplicada en 4 bloques. La máquina utilizada de marca Zasso, fue importada de Brasil por la empresa uruguaya Agrofuturo. Se utilizó el modelo IZI (Figura 8), una herramienta de deshierbe eléctrico manual que se emplea en jardines, parques, y demás zonas urbanas.



Figura No. 8. Equipo utilizado capaz de producir la descarga eléctrica

La máquina realiza una descarga de 700 V durante unos segundos sobre cada planta, repitiendo el proceso en el mayor número de individuos posibles. Por no tratarse de un equipo de escala comercial, sino de uso doméstico, no se pueden presentar registros de eficiencia operativa.

Se dejó un testigo que correspondió a la alternativa 5, donde no se realizó ningún tipo de control.

La alternativa 6 correspondió a la aplicación de Liquid mulch. Para su instalación fueron necesarios algunos pasos previos. Primero se realizó deshierbe manual, con el objetivo de retirar toda la vegetación existente en la zona de aplicación. Luego se pasó de forma manual un rodillo de peso y dimensiones considerables con el objetivo de aplanar el área y generar las condiciones necesarias para que el producto pudiera extenderse homogéneamente.



Figura No. 9. Equipo utilizado para la aplicación de Liquid mulch

Se aplicó el producto en la fila alrededor del árbol utilizando un difusor sin cubrir toda la fila, sino en “spot”, generando una cobertura en forma similar a un rectángulo independiente en cada árbol, intentando que la misma fuera bien homogénea (Figura 9).

A los efectos de estimar el área de aplicación del producto, se midió la superficie de cada rectángulo correspondiente a cada planta en todas las parcelas, estimándose una cobertura promedio de $0,9 \text{ m}^2$ por árbol.

El producto para su aplicación fue diluido en agua en proporciones que no pudieron ser ajustadas estrictamente. Pero a partir del gasto total y del área aplicada se estimó que la cantidad de Liquid mulch utilizada promedio fue de $3,17 \text{ l/árbol}$ y de agua $5,36 \text{ l/árbol}$. Al considerar una densidad de 1500 plantas/ha , y a partir de las estimaciones mencionadas se calculó una cantidad de Liquid mulch/ha de 4755 l , mientras que el gasto de agua fue de 8038 l/ha .

3.3.3. Determinaciones

Previamente a la instalación de las alternativas se registró el nivel de enmalezamiento inicial. Para eso se evaluó el porcentaje de cobertura de malezas en la fila de plantación, mediante una escala subjetiva. Ésta consistió en observar la parcela y determinar qué porcentaje de la misma estaba cubierta, donde 100% representó la totalidad de la superficie cubierta por malezas, y 0% sin presencia de las mismas.

Esta medición de enmalezamiento inicial, se realizó el 20/07 para las alternativas con máquina de agua caliente (A1), ácido acético (A2), control operativo (A3) y para el testigo sin control de malezas (A5), mientras que para la alternativa con descarga eléctrica (A4) la fecha fue el 05/08.

Luego de aplicadas las diferentes alternativas se evaluó el porcentaje de control que tuvieron las mismas sobre las malezas. Para ello, se utilizó nuevamente una escala subjetiva, teniendo en cuenta que una alta respuesta a la aplicación representaba mayores porcentajes de control.

Una vez que se dejó de evidenciar el efecto del control, se prosiguió midiendo el porcentaje de cobertura del surco. Esta decisión fue tomada debido a que se dificultaba la discriminación de las plantas a las cuales se le había aplicado la alternativa y de las nuevas emergencias.

Cuadro No. 2. Fechas de las evaluaciones realizadas en las distintas alternativas en la fila de plantación

| | Evaluaciones | | | | | |
|---------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--|
| A1 * | 20/07 Enmalez. inicial | 30/07 (9dpa) % control | 13/08 (23dpa) % control | 28/08 (38 dpa) % control | 18/09 (59 dpa) % cobertura | 16/10 (87 dpa) Enmalez. Final |
| A2 | 20/07 Enmalez. inicial | 30/07 (9dpa) % control | 13/08 (23dpa) % control | 28/08 (38 dpa) % control | 18/09 (59 dpa) % cobertura | 16/10 (87 dpa) Enmalez. Final |
| A3 | 20/05 Enmalez. inicial | 30/07 (9dpa) % control | 13/08 (23dpa) % control | 28/08 (38 dpa) % control | 18/09 (59 dpa) % control | 16/10 (87 dpa) Enmalez. Final |
| A4 | 05/08 Enmalez. inicial | - | 13/08 (7dpa) % control | 28/08 (22 dpa) % control | - | - |
| A5 | 20/07 Enmalez. inicial | - | - | - | - | 16/10 Enmalez. Final |
| A6 | - | - | - | - | 18/09 (65dpa) % cobertura | 16/10 (93 dpa) % cobertura |

*Alternativas: A1, máquina de agua caliente. A2, ácido acético. A3, control operativo. A4, descarga eléctrica. A5, testigo. A6, Liquid mulch.

En las alternativas con máquina de agua caliente (A1) y ácido acético (A2) el efecto del control se dejó de evidenciar antes por lo cual fue necesario evaluar el porcentaje de cobertura el 18/09.

Finalmente, se realizó la última medición de enmalezamiento final (porcentaje de cobertura) el 16/10 para las alternativas con máquina de agua caliente (A1), ácido acético (A2), descarga eléctrica (A3) y el testigo sin control de malezas (A5).

En el caso de la alternativa con descarga eléctrica (A4) el porcentaje de control fue evaluado el 13/08 y el 28/08. Por las características de esta aplicación y para poder evaluar el control diferenciadamente, no se estimó el control a partir de la observación de la parcela entera, sino que, a partir de plantas previamente identificadas, considerando que el control de la máquina fue puntual. Para ello, además se clasificó las malezas en dos grupos, “chicas” que refieren a plantas de 0 a 10 cm de diámetro, y “grandes” plantas más desarrolladas, de 10 a 20 cm de diámetro. Estas últimas fueron marcadas de forma de evaluar la evolución del control en las mismas plantas.

En referencia al testigo (A5) al no haber recibido ninguna aplicación, solamente se evaluó enmalezamiento inicial y porcentaje de cobertura al final del experimento.

En la alternativa de Liquid mulch (A6) no fue preciso realizar evaluación de enmalezamiento inicial, porque previo a la instalación ya se había retirado toda la vegetación de forma manual. Sobre esta alternativa se evaluó el porcentaje de cobertura los días 18/09 y 16/10, momento a partir del cual se empezaron a observar emergencias.

Con el fin de evaluar el crecimiento de los árboles durante el período experimental, se midió al inicio (14/07) y al final (16/10) del ensayo la altura y el diámetro a la altura del cuello (DAC) de todos los árboles de cada unidad experimental, para ello se utilizó un calibre y una cinta métrica. La evaluación inicial para la alternativa con descarga eléctrica (A4), fue la única que se realizó posteriormente (5/08), por razones que ya fueron mencionadas.

3.3.4. Análisis estadístico

Este experimento no puede ser analizado estadísticamente, porque cada alternativa fue evaluada en forma independiente, las condiciones de aplicación y de aplicabilidad fueron diferentes, por tanto, no tendría sentido la comparación entre ellas. Por ello se presenta una estadística descriptiva de las

mismas en relación al control, y sí se analizan estadísticamente el crecimiento de los árboles, siguiendo el modelo de DBCA.

3.4. EXPERIMENTO 2

3.4.1. Diseño experimental y alternativas

El diseño propuesto para el experimento número dos fue un diseño completamente aleatorizado (DCA) con seis repeticiones (seis surcos sembrados con cada especie). La unidad experimental fue un surco de un metro, donde se sembraron 100 semillas (Figuras 10 y 11), siendo las alternativas evaluadas las cinco descritas en el Cuadro 3.

Cuadro No. 3. Descripción y fecha de instalación de las alternativas aplicadas en el experimento dos

| Alternativas | | Fecha de instalación |
|--------------|--------------------------------------|----------------------|
| A1 | Máquina de agua caliente (Foamstrem) | 21/07 |
| A2 | Ácido acético (al 30%) | 21/07 |
| A3 | Control operativo (herbicidas) | 21/07 |
| A4 | Descarga eléctrica (Zasso) | 06/08 |
| A5 | Testigo (sin control de malezas) | 15/07 |

3.4.2. Metodología

Se sembraron semillas de los cultivares avena INIA Columba (LE-Px133) y raigrás Winter Star 3 el 20/07. Para el caso de la alternativa con descarga eléctrica (A4) la fecha de siembra fue el 5/08. En todos los casos la siembra se realizó el día previo a la aplicación de las alternativas. Este experimento se instaló dentro de las unidades experimentales del bloque dos del experimento uno.

La siembra se realizó de forma manual en la fila de plantación, haciéndose tres surcos entre dos árboles donde en cada surco se colocaron 100 semillas (Figura 10). Luego de la siembra se regó sobre el surco para humedecer las semillas. Se realizaron 6 repeticiones de cada especie para cada alternativa. En la Figura 11 se presenta un esquema para su mejor comprensión.



Figura No. 10. Tres surcos realizados en la fila, recién sembrados



(A) avena (L) raigrás.

Figura No. 11. Representación del diseño experimental y la unidad experimental del experimento 2

Las alternativas fueron las mismas que en el experimento uno, por lo que la metodología de aplicación ya fue descrita anteriormente en el ítem 3.3.2.

3.4.3. Determinaciones

Se evaluó la emergencia de las semillas a través del porcentaje de germinación a los 15, 23 y 38 días post aplicación de las alternativas con máquina de agua caliente (A1), ácido acético (A2), control operativo (A3) y testigo sin control de malezas (A5). Para la alternativa con descarga eléctrica (A4) se midió a los 8 y 23 días post aplicación. Las fechas de evaluación se detallan en el Cuadro 4.

Cuadro No. 4. Fechas de medición del porcentaje de germinación

| Alternativas | | Evaluaciones | | |
|--------------|--------------------------------------|--------------|-------|-------|
| | | 1era | 2da | 3ra |
| A1 | Máquina de agua caliente (Foamstrem) | 05/08 | 13/08 | 28/08 |
| A2 | Ácido acético (al 30%) | 05/08 | 13/08 | 28/08 |
| A3 | Control operativo (herbicidas) | 05/08 | 13/08 | 28/08 |
| A4 | Descarga eléctrica (Zasso) | 13/08 | 28/08 | - |
| A5 | Testigo (sin control de malezas) | 05/08 | 13/08 | 28/08 |

3.4.4. Análisis estadístico

Para este experimento no se realizó análisis estadístico. Los resultados se presentan solamente con una estadística descriptiva.

3.5. EXPERIMENTO 3

3.5.1. Diseño experimental y alternativas

El diseño experimental fue un diseño en bloques completos al azar (DBCA) con 5 repeticiones. La unidad experimental fue la parcela, en este caso una entrefila de 17 m².

Las alternativas evaluadas fueron máquina de agua caliente (A1), ácido acético (A2) y control operativo (A3). La fecha de instalación para todas fue el 21/07.

3.5.2. Metodología

En este experimento, las alternativas fueron aplicadas en entrefilas de la plantación.

La alternativa con máquina de agua caliente (A1), presentó tres repeticiones. La metodología utilizada fue similar a la descrita para el experimento uno, pero en este caso al no estar presentes los árboles, se aplicó en toda la extensión de la parcela.

Las alternativas con ácido acético (A2) y control operativo (A3) fueron aplicadas en todos los bloques. La metodología ya fue descrita anteriormente para el experimento uno en el ítem 3.3.2.

3.5.3. Determinaciones

Al comienzo de la evaluación, el 20/07 día previo a la instalación de las alternativas, se registró el nivel de enmalezamiento inicial. Para eso se lanzó un cuadrante de 0,3 por 0,3 metros, cuatro veces al azar por parcela. En cada tiro, se registró el porcentaje de las malezas y composición por especie.

Luego de aplicadas las alternativas se evaluó el porcentaje de control mediante una escala subjetiva, comparando los síntomas de las plantas dentro de la unidad experimental con el estado de plantas sin aplicación. Se realizaron cuatro mediciones en las fechas 30/07, 13/08, 28/08 y 18/09.

Cuando el porcentaje de control ya no era perceptible se evaluó el enmalezamiento final el día 16/10.

3.5.4. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados a través de un análisis de varianza para un modelo de bloques completos al azar. En los casos donde se detectaron diferencias significativas la separación de medias fue realizada a través de un test de Tukey al 10%.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se detallan los resultados y discusión para cada experimento por separado.

4.1. EXPERIMENTO 1

La maleza principal en la fila de plantación a lo largo de todo el experimento fue *Bowlesia incana* (perejilillo), las restantes malezas que constituyeron el enmalezamiento inicial fueron *Hypochaeris radicata* y *Coronopus didymus*, entre otras de menor importancia que se observaban esporádicamente.



Figura No. 12. Enmalezamiento inicial en una parcela correspondiente al testigo (A5), compuesto principalmente por *B. incana* en la fila de plantación el 20/07

En el Cuadro 5 se detallan los resultados de enmalezamiento inicial promedio en la fila de plantación de todos los bloques, evaluado previo a la aplicación de las alternativas máquina de agua caliente (A1), ácido acético (A2), control operativo (A3) y testigo (A5). Se discriminó el porcentaje ocupado por *B. incana* con respecto al total, teniendo en cuenta que la misma era la de mayor importancia en cuanto a superficie ocupada.

Cuadro No. 5. Enmalezamiento inicial (% de cobertura) previo a la aplicación de las alternativas 1, 2, 3 y 5 en la fila de plantación, evaluado el 20/07

| Alternativa | | Promedio (%) | Desvío | CV | <i>B. incana</i> respecto al % total de cobertura |
|-------------|--------------------------------------|--------------|--------|------|---|
| A1 | Máquina de agua caliente (Foamstrem) | 60 | 39,1 | 65,1 | 99 |
| A2 | Ácido acético (al 30%) | 49 | 19,8 | 40,4 | 96 |
| A3 | Control operativo (herbicidas) | 53 | 22,8 | 43,0 | 94 |
| A5 | Testigo (sin control de malezas) | 64 | 11,9 | 18,7 | 97 |

En el Cuadro 6 se presentan los resultados de enmalezamiento inicial para la alternativa con descarga eléctrica (A4). La evaluación fue posterior, ya que ésta se aplicó en una fecha diferente a las alternativas anteriores.

Cuadro No. 6. Enmalezamiento inicial previo a la aplicación de la alternativa con descarga eléctrica (A4), evaluado el 05/08

| Alternativa | | Promedio (%) | Desvío | CV | <i>B. incana</i> respecto al % total de cobertura |
|-------------|----------------------------|--------------|--------|-----|---|
| A4 | Descarga eléctrica (Zasso) | 83 | 4,2 | 5,1 | 58,1 |

Posteriormente a la aplicación de las alternativas máquina de agua caliente (A1), ácido acético (A2) y control operativo (A3), se evaluó el porcentaje de control promedio para *B. incana* por lo ya mencionado anteriormente. Se pueden observar los resultados en el Cuadro 7.

Cuadro No. 7. Porcentaje de control de *B. incana* bajo diferentes alternativas en la fila de plantación, en distintas fechas de evaluación

| Alternativa | | 9 dpa* | 23 dpa | 38 dpa | 59 dpa |
|-------------|--------------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|-----------------|
| A1 | Máquina de agua caliente (Foamstrem) | 88 ($\pm 2,9$)** | 87 ($\pm 5,8$) | 73 ($\pm 15,3$) | - |
| A2 | Ácido acético (al 30%) | 13 ($\pm 2,7$) | 7 ($\pm 4,5$) | 1 ($\pm 2,2$) | - |
| A3 | Control operativo (herbicidas) | 7 ($\pm 2,7$) | 65 ($\pm 8,7$) | 60 ($\pm 14,6$) | 75 (± 10) |

*dpa: días post aplicación

**desvío estándar se presenta entre paréntesis

El porcentaje de control en *B. incana* se evaluó en cuatro oportunidades, obteniéndose resultados de control muy diferentes entre las distintas alternativas aplicadas.

El agua caliente logró eliminar la totalidad de malezas presentes en el área aplicada, demostrando un control de malezas efectivo. Generó un control de forma rápida (Figura 13), lo que era esperable ya que las altas temperaturas son letales para la vegetación y desecan las plantas rápidamente. Logró el mayor porcentaje de control en la primera medición, condición que con el transcurso del tiempo fue disminuyendo hasta que a los 59 dpa ya no pudo ser evaluado.



Figura No. 13. Fotografía tomada en la primera evaluación de porcentaje de control (9 dpa) en parcela donde se aplicó la alternativa con máquina de agua caliente (A1)

Se pudo observar los efectos de la alternativa inmediatamente después de aplicada, presentando colores amarronados, síntoma de que estaba ocurriendo el marchitamiento de las plantas. Esta rapidez en el desarrollo de los síntomas coincide con lo sostenido por Martelloni et al. (2019). La rapidez en el control también puede generar efectos negativos, ya que deja alto porcentaje de suelo descubierto.

En el caso de las restantes especies se obtuvieron buenos porcentajes de control con esta alternativa, siendo la mayoría controladas al 100% luego de la aplicación del mismo. Estas no fueron tenidas en cuenta para el análisis de los datos ya que como se mencionó anteriormente la proporción de la superficie que ocupaban no era tan importante como en el caso de *B. incana*.

El porcentaje de control ejercido por la alternativa con ácido acético (A2) fue muy bajo en comparación con las demás. A su vez, en las diferentes mediciones el control del mismo iba disminuyendo hasta los 59 dpa donde ya no pudo ser evaluado.

En la Figura 14 se puede observar los efectos del ácido acético al día siguiente de la aplicación sobre *B. incana*. Estos ocurrieron rápidamente, lo que coincide con los resultados de Evans et al. (2011). Los síntomas fueron observados al día siguiente de la aplicación, pero con el correr de los días las plantas comenzaron a recuperarse, lo cual era esperado según lo citado por Montero (2014), quien vio una recuperación de las plantas días posteriores a la aplicación.

Si bien la concentración utilizada fue adecuada, los bajos resultados obtenidos en el porcentaje de control de malezas con esta alternativa pudieron verse afectados por el volumen aplicado. Se puede pensar que los 150 l/ha utilizados en el desarrollo de este trabajo no fueron suficientes ya que según la bibliografía consultada aplicaciones con dosis entre 200 y 400 l/ha afectan solamente la parte aérea de las plantas, siendo efectivas dosis de 600 l/ha (Alvarado et al., 2016).



Figura No. 14. *B. incana* antes de la aplicación de ácido acético (A2) el 20/07, y al día siguiente

El control operativo (A3) presentó un comportamiento diferente a los demás, fue aumentando gradualmente el porcentaje de control en cada medición. Esto se debe a la forma en la cual actúan los herbicidas sobre las malezas, relacionado con su poder residual. Esta alternativa fue a la única que se le pudo evaluar el porcentaje de control a los 59 dpa.

En el Cuadro 8 se presentan los resultados de la misma evaluación para la descarga eléctrica (A4). En este caso el porcentaje de control se evaluó en función del tamaño de las distintas plantas de *B. incana*.

Cuadro No. 8. Porcentaje de control de *B. incana* bajo la alternativa con descarga eléctrica (A4) en las distintas fechas de evaluación

| A4. Descarga eléctrica (Zasso) | 7 dpa* | 22 dpa |
|--------------------------------|------------|-------------|
| <i>B. incana</i> chicas ** | 95,8(±4,3) | 100 |
| <i>B. incana</i> grandes *** | 52,5(±9,6) | 91,3(±26,8) |

*dpa: días post aplicación

**chicas: refiere a plantas chicas de 0 a 10 cm de diámetro de *B. incana*

***grandes: refiere a plantas más desarrolladas, de 10 a 20 cm de diámetro de *B. incana*

El control con esta alternativa fue efectivo para controlar los dos tamaños de la maleza mencionada. El efecto de la aplicación de la descarga

eléctrica se observó más rápido en las plantas de menor tamaño, obteniéndose mayores porcentajes de control en la primera evaluación y un control total en la segunda. Mientras que las plantas de mayor tamaño (Figura 15), denominadas como “grandes” el alto porcentaje de control se alcanzó los días posteriores.



Figura No. 15. Plantas de *B. incana* “grandes” a los 7 dpa, aún bajo efectos de control de la alternativa con descarga eléctrica (A4)

En función de la bibliografía (Zasso, 2019), se puede pensar que para haber obtenido los mismos resultados y tiempo de acción en ambas categorías se debería ajustar la energía descargada en función del grado de desarrollo de la maleza. Otro factor que influyó en el control, que debe tenerse en cuenta para ajustar la descarga son los números de puntos de contacto, los que debieron variar dependiendo de las características de la maleza.

Como fue mencionado anteriormente el efecto del control en las alternativas con máquina de agua caliente (A1) y con ácido acético (A2) se dejó de evidenciar antes, por lo que fue necesario evaluar el porcentaje de cobertura, lo que se detalla en el Cuadro 9.

Cuadro No. 9. Porcentaje de cobertura en las alternativas 1 y 2 evaluadas a los 59 dpa

| Alternativas | | Promedio (%) | Desvío | CV | <i>B. incana</i> (con respecto al % total) |
|--------------|--------------------------------------|--------------|--------|------|--|
| A1 | Máquina de agua caliente (Foamstrem) | 21,7 | 10,4 | 48,0 | 4,7 |
| A2 | Ácido acético (al 30%) | 96,4 | 3,6 | 3,7 | 85,2 |

Se puede observar que a los 59 dpa el porcentaje de cobertura de *B. incana* fue mayor en las filas donde fue aplicado el ácido acético (A2), mientras que donde fue aplicado la máquina de agua caliente (A1) la cobertura que representaba esta maleza era menor.

En la última medición, se evaluó el porcentaje de cobertura final para todas las alternativas aplicadas en este experimento (Cuadros 10 y 12).

Cuadro No. 10. Porcentaje de cobertura final en las alternativas 1, 2, 3, y 5 evaluadas a los 87 dpa

| Alternativas | | Promedio (%) | Desvío | CV |
|--------------|--------------------------------------|--------------|--------|------|
| A1 | Máquina de agua caliente (Foamstrem) | 53,5 | 1,3 | 21,0 |
| A2 | Ácido acético (al 30%) | 90,6 | 7,7 | 8,5 |
| A3 | Control operativo (herbicidas) | 65,0 | 10,6 | 16,3 |
| A5 | Testigo (sin control de malezas) | 89,2 | 3,9 | 15,6 |

Los resultados de la última medición del porcentaje de cobertura realizada a los 87 dpa (Cuadro 10), indican que el ácido acético (A2) no presentó diferencias con el testigo (A5), dejando claro que no es una alternativa para el control de esta maleza. Menor cobertura presentaron las alternativas de control operativo (A3) y máquina de agua caliente (A1), donde la cobertura llegó a un promedio de 65% y 54% respectivamente.

Si bien el control químico representó un mejor control, esto no se vio reflejado en el porcentaje de cobertura final donde la cobertura era mayor que en el agua caliente. Esto se debe a que el agua caliente tuvo un control rápido de las malezas y al no presentar residualidad nuevas emergencias se registraron rápidamente, además, éstas plantas nuevas que brotaron de semilla, ocupaban menor área de cobertura.

En las parcelas con herbicida, el cual tuvo un control más lento pero efectivo y prolongado, con poder residual, la cobertura que se encontró a los 87 dpa estaba constituida por malezas que aún estaban sufriendo los efectos del control y ocupaban mayor superficie. En esta alternativa no se registraron

nuevas emergencias por lo que el control se siguió evidenciando, aunque el porcentaje de cobertura fuera mayor.

Para la alternativa Liquid mulch (A6) en las primeras evaluaciones realizadas a los 15, 28 y 43 días post aplicación (dpa), no se visualizaron emergencias en el área cubierta por el producto.

A los 65 dpa ya se observaban emergencias, las que eran predominantemente de *Bowlesia incana*, *Coronopus didymus* y *Anagallis arvensis* (Figura 16), por lo que se evaluaron las emergencias mediante el porcentaje de cobertura promedio calculado sobre el spot de cada árbol (Cuadro 11).



Figura No. 16. Spot con emergencias de malezas a los 65 dpa

Cuadro No. 11. Porcentaje de cobertura promedio de malezas en el spot de Liquid mulch (A6) evaluado a los 65 dpa

| Alternativa | Bloque | 65 dpa |
|-------------|--------|-------------------|
| A6 | 1 | 10 (± 9)* |
| A6 | 2 | 14 ($\pm 12,1$) |
| A6 | 3 | 7 ($\pm 8,2$) |
| A6 | 4 | 21 ($\pm 15,3$) |
| A6 | 5 | 21 ($\pm 16,9$) |
| | Total | 14,6 |

*desvío estándar se presenta entre paréntesis

Se presentan los datos para cada unidad experimental porque la variabilidad era muy grande, como puede verificarse en los datos. Estos resultados pueden deberse a la heterogeneidad en la aplicación respecto a la concentración del producto (cantidad de Liquid mulch disuelta en agua), la cual no fue constante, haciendo variar la consistencia del mismo y a las cantidades aplicadas por árbol, ya que al ser manual no fue preciso.

En el Cuadro 12 se detallan los resultados de la evaluación a los 93 dpa, en el spot y fuera del mismo en la fila, bajo compactación de rodillo. Se decidió evaluar en ambos lugares, debido a que se esperaba que afuera del spot el enmalezamiento fuera mayor, pero a simple vista la cobertura de malezas parecía similar.

Cuadro No. 12. Porcentaje de cobertura promedio de malezas en el spot y en los espacios que no presentaban cobertura de Liquid mulch (A6) a los 93 dpa

| Alternativa | Bloque | Promedio del spot | Promedio afuera del área de spot |
|-------------|--------|-------------------|----------------------------------|
| 6 | 1 | 29 ($\pm 15,1$) | 63 ($\pm 22,1$) |
| 6 | 2 | 37 ($\pm 25,7$) | 34 ($\pm 18,1$) |
| 6 | 3 | 28 ($\pm 29,1$) | 53 ($\pm 32,3$) |
| 6 | 4 | 42 ($\pm 21,6$) | 54 ($\pm 30,1$) |
| 6 | 5 | 38 ($\pm 23,6$) | 77 ($\pm 15,4$) |
| | Total | 34,8 | 56,2 |

El promedio de la cobertura de malezas en el spot aumentó a los 93 dpa respecto a la evaluación anterior. En 28 días aumentó en promedio un 20,2%. Aun así, una cobertura de 34% continúa representando un control efectivo, luego de aproximadamente 3 meses de aplicado, y teniendo en cuenta que se registraron precipitaciones que superaron los 160 mm (Figura 5) con una máxima de 32 mm en un día y una temperatura media de 14,6 °C, temperatura media máxima de 21,8 °C y media mínima de 6,5 °C.

Este producto puede variar su residualidad en función de las condiciones ambientales a las que está expuesto, por lo que es importante caracterizar el período experimental.

Afuera del spot la cobertura fue de 56,2%. En comparación con el testigo, el cual tuvo un enmalezamiento final de 89,2% (Cuadro 10) se puede concluir que si hubo un efecto del rodillo en la emergencia de malezas y del deshierbe manual realizado previamente.

Si bien no se registraron nuevas emergencias sobre la cobertura por un período prolongado, cabe resaltar que las que se registraron fuera de ésta fueron pocas. Por lo que se podría cuestionar si esto es atribuido al efecto de la

cobertura en sí, o sí se debe a que no crecían malezas por condiciones brindadas antes de la aplicación como por ejemplo el deshierbe de forma manual y posterior pasada de rodillo, lo que podría estar “favoreciendo” la alternativa.

En relación a las mediciones realizadas a los árboles al inicio del experimento éstas indicaron la existencia de homogeneidad en altura (p -valor = 0,4296) y diámetro a la altura de cuello (p -valor = 0,3971).

Los resultados del análisis de varianza en la medición final de los árboles realizada a los 92 dpa presentaron diferencias significativas, por lo que se comparó las medias de los tratamientos a través del test de Tukey, altura final (p -valor = 0,0067) y diámetro a la altura de cuello (p -valor = 0,0001). Es decir, las alternativas tuvieron diferentes efectos sobre el crecimiento de los árboles, consecuencia del nivel de control logrado y el periodo en el que estuvo libre de malezas.

Se debe tener en cuenta que en la alternativa con descarga eléctrica (A4) esta evaluación se realizó a los 72 dpa, ya que la instalación de la alternativa fue el 5/08.

Cuadro No. 13. Altura y DAC promedio de cada alternativa al final del experimento

| Alternativas | | Altura final | DAC final |
|--------------|---------------------------------------|--------------|-----------|
| | | Medias | Medias |
| A1 | Máquina de agua caliente (Foamstrem) | 67,2 AB* | 1,53 AB |
| A2 | Ácido acético (al 30%) | 55,1 AB | 1,16 BC |
| A3 | Control operativo (herbicidas) | 58,1 AB | 1,26 BC |
| A4 | Descarga eléctrica (Zasso) | 52,0 B | 1,03 C |
| A5 | Testigo (sin control de malezas) | 52,4 B | 1,08 C |
| A6 | Liquid mulch previa pasada de rodillo | 66,2 A | 1,62 A |

*diferentes letras indican diferencias significativas (p valor \leq 0,05)

El análisis indica que la alternativa con Liquid mulch (A6) logró mayor efecto que la alternativa de descarga eléctrica (A4) y el testigo (A5) para ambas variables. Esto era esperable porque fue la alternativa que estuvo sin presencia de malezas por mayor período de tiempo, obteniendo un control de

emergencias muy bueno hasta los 65 dpa. Mientras que la descarga eléctrica (A4) si bien determinó excelente control hasta los 22 dpa, no fue aplicado en toda la fila, por lo tanto, los árboles estuvieron sometidos a la interferencia de malezas al igual que en el testigo (A5).

La ausencia de malezas en la alternativa de Liquid mulch (A6) que influyó en el crecimiento y desarrollo de los árboles, podría estar favorecido por la metodología utilizada previo a su instalación, donde se realizó deshierbe y compactación con rodillo, lo que permitió que desde el inicio estuviera sometido a una menor competencia. Los resultados de la alternativa con descarga eléctrica (A4) entonces, no pueden ser atribuidos a la alternativa por sí misma, sino, a que el control fue solo puntual y no en toda la fila de plantación.

Comparando las demás alternativas, los efectos de éstas en el crecimiento de los árboles fueron similares. La alternativa de Liquid mulch (A6), máquina de agua caliente (A1), ácido acético (A2) y control operativo (A3), no presentaron diferencias entre sí en cuanto a la altura. Lo mismo ocurre entre Liquid mulch (A6) y agua caliente (A1) respecto al DAC final.

Para ambas variables (altura y DAC), las alternativas con máquina de agua caliente (A1), ácido acético (A2) y control operativo (A3) tuvieron similares efectos. Relacionándolo con los resultados obtenidos en el porcentaje de control de malezas y de cobertura para cada alternativa, se puede comentar que si bien la forma de actuar y el comportamiento de cada una fue diferente, la competencia que se estableció por parte de las malezas tuvo similar efecto en el crecimiento de los árboles.

Se puede concluir que no hay una alternativa que haya logrado un mayor efecto sobre la altura de los árboles. De todas formas, la aplicación de Liquid mulch es la única que logró una media mayor respecto al testigo sin control de malezas. Sin embargo, para la variable DAC, el agua caliente también logró mayores efectos que testigo.

Se puede observar que la variable DAC fue más sensible a la competencia establecida por las malezas en comparación con la variable altura ya que obtuvo más diferencias entre los efectos de las alternativas.

4.2. EXPERIMENTO 2

Por condiciones ambientales la *Avena* spp. no germinó correctamente por lo que los datos no se tuvieron en cuenta para la evaluación, ya que no era posible evidenciar el efecto de los distintos tipos de control. Los resultados de porcentaje de germinación para *Lolium* spp. se detallan en el Cuadro 14.

Cuadro No. 14. Porcentaje de germinación de *Lolium* spp. bajo diferentes alternativas en la fila de plantación, sembrado el 20/07

| Alternativas | | 16 dpa | 24 dpa | 39 dpa |
|--------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|
| A1 | Máquina de agua caliente (Foamstrem) | 4 | 8 | 0 |
| A2 | Ácido acético (al 30%) | 56 | 57 | 56 |
| A3 | Control operativo (herbicidas) | 0 | 2 | 1 |
| A5 | Testigo (sin control de malezas) | 44 | 53 | 62 |

Los porcentajes de germinación en el testigo (A5) fueron similares a los obtenidos bajo la alternativa del ácido acético (A2), lo que demuestra un bajo control de éste sobre la germinación de *Lolium* spp. (Figura 17).



Figura No. 17. Emergencias de *Lolium* spp. a los 16 días post siembra bajo el testigo (A5)

Estos resultados eran esperables en función de la revisión bibliográfica, donde se sostiene que el ácido acético ingresa por las hojas, afectando principalmente la etapa de cotiledón hasta 6 hojas, por lo que no afecta la viabilidad de las semillas, ni tiene poder residual para controlar las emergencias que se dan luego de su aplicación.

La alternativa con máquina de agua caliente (A1) presentó bajos porcentajes de germinación, lo que era esperable de acuerdo a la bibliografía consultada anteriormente de Weedingtech (s.f.), Ribeiro et al., citados por Peerzada y Chauhan (2018), los cuales sostienen que el calor afecta la viabilidad, latencia y germinación de las semillas.

Las emergencias registradas bajo esta alternativa pueden deberse a que las semillas no hayan sido alcanzadas por el agua caliente por características de la aplicación, la cual se realizó de forma manual y no fue homogénea en la superficie, y no a una deficiencia del control de la alternativa.

En relación al control operativo (A3), alternativa que obtuvo los mejores resultados, era de esperarse los bajos porcentajes de germinación debido a los efectos de los herbicidas preemergentes los cuales controlan las malezas en la etapa de germinación y emergencia.

La siembra de las semillas para la alternativa con descarga eléctrica (A4) se realizó 15 días posteriores a las demás por razones operativas. Por lo tanto, los resultados de germinación obtenidos no son comparables. De todas formas, es importante destacar que la germinación final de esta alternativa para *Lolium* spp. fue de 34% a los 22 dpa.

Las diferentes fechas de siembra implican diferentes condiciones ambientales al momento de la germinación, esto puede haber influido en los resultados, no siendo posible determinar si los mismos se debieron al efecto de la alternativa o a un efecto ambiental.

4.3. EXPERIMENTO 3

En este experimento la composición de especies de malezas presentes en la entrefila era mayor que en la fila de plantación, evaluada en el experimento 1. De las malezas presentes, las que se encontraban en mayor proporción correspondieron a *Bowlesia incana*, *Conyza* spp. e *Hypochaeris radicata*.

El promedio de enmalezamiento inicial se detalla en el Cuadro 15. Para realizar la evaluación de enmalezamiento inicial se tomó el promedio total, sin discriminar según las especies presentes.

Cuadro No. 15. Enmalezamiento inicial antes de aplicar las alternativas 1, 2 y 3 en la entrefila de plantación, evaluado el 20/07

| Alternativas | | Promedio (%) | Desvío | CV |
|--------------|--------------------------------------|--------------|--------|----|
| A1 | Máquina de agua caliente (Foamstrem) | 74 | 19 | 25 |
| A2 | Ácido acético (al 30%) | 76 | 24 | 31 |
| A3 | Control operativo (herbicidas) | 68 | 27 | 40 |

El enmalezamiento inicial era importante, pero presentó un alto desvío debido a la variación observada entre los bloques. Además de las malezas ya mencionadas, también se pudo constatar la presencia esporádica de diferentes especies como, *Veronica persica*, *Anagallis arvensis*, *Coronopus didymus*, y algunas especies de gramíneas.

El control de cada alternativa se determinó solo para las malezas predominantes (Cuadro 16).

Cuadro No. 16. Porcentaje de control de las distintas especies bajo diferentes alternativas en la entrefila de plantación, evaluado el 30/07 a los 9 dpa

| | | <i>B. Incana</i> | <i>Conyza spp.</i> | <i>H. radicata</i> |
|--------------|--------------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| p-valor | | 0,0045 | 0,0001 | 0,0001 |
| Alternativas | | Media | Media | Media |
| A1 | Máquina de agua caliente (Foamstrem) | 95 A | 100 A | 100 A |
| A2 | Ácido acético (al 30%) | 19 B | 8 C | 6 C |
| A3 | Control operativo (herbicidas) | 19 B | 19 B | 14 B |

En esta fecha, las tres especies de malezas analizadas obtuvieron los mejores promedios de control con la alternativa de agua caliente (A1). Esta alternativa, al igual que lo observado en el experimento 1, logró los mayores porcentajes de control en la primera evaluación, desecando de forma efectiva las malezas presentes.

Para las dos alternativas restantes (A2 y A3), los resultados de control fueron muy bajos en esta instancia. En *B. incana* no presentaron diferencias significativas, mientras que *Conyza spp.* y *H. radicata*, obtuvieron mejor resultado con el control operativo (A3) que con la alternativa de ácido acético (A2).

En la segunda evaluación (Cuadro 17) se puede observar un aumento muy significativo en el porcentaje de control obtenido con la alternativa de control operativo (A3) para todas las especies, esperado porque las bajas temperaturas enlentecen la expresión de síntomas y el control que alcanza el herbicida. En *Conyza* spp. y *H. radicata* específicamente, el control operativo presentó valores excelentes en esta fecha.

Respecto a estas dos últimas especies, el control realizado con agua caliente (A1) en la primera evaluación fue total, por este motivo en esta instancia no se registraron datos. En *B. incana* no se encontraron diferencias entre la alternativa con control químico (A3) y agua caliente (A1).

A pesar que el control ejercido por el agua caliente (A1) sobre *B. incana* en la medición anterior fue muy efectivo, no fue total, por lo que se pudo observar una leve recuperación de esta maleza. En la Figura 18 se puede ver que en esta fecha comenzaron a surgir tonalidades verdes que indican que el pequeño porcentaje que no fue totalmente desecado pudo recuperarse y continuar su crecimiento.



Figura No. 18. Parcela donde se aplicó la alternativa con máquina de agua caliente (A1) a los 23 dpa

El ácido acético (A2) no se convalidó como una herramienta viable para el control de malezas con ese grado de desarrollo.

Cuadro No. 17. Porcentaje de control de las distintas especies bajo diferentes alternativas en la entrefila de plantación, evaluado el 13/08 a los 23 dpa

| | | <i>B. Incana</i> | <i>Conyza spp.</i> | <i>H. radicata</i> |
|--------------|--------------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| p-valor | | 0,0084 | 0,0010 | 0,0167 |
| Alternativas | | Media | Media | Media |
| A1 | Máquina de agua caliente (Foamstrem) | 83 A | - | - |
| A2 | Ácido acético (al 30%) | 27 B | 8 B | 28 B |
| A3 | Control operativo (herbicidas) | 75 A | 95 A | 92 A |

Cuadro No. 18. Porcentaje de control de las distintas especies bajo diferentes alternativas en la entrefila de plantación, evaluado el 28/08 a los 38 dpa

| | | <i>B. Incana</i> | <i>Conyza spp.</i> | <i>H. radicata</i> |
|--------------|--------------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| p-valor | | 0,0023 | 0,0957 | 0,1835 |
| Alternativas | | Media | Media | Media |
| A1 | Máquina de agua caliente (Foamstrem) | 93 A | 69 A | - |
| A2 | Ácido acético (al 30%) | 35 B | - | 45 A |
| A3 | Control operativo (herbicidas) | 96 A | 100 A | 100 A |

Los resultados de la tercera evaluación, se muestran en Cuadro 18. En relación a la especie *B. incana*, las alternativas de agua caliente (A1) y control operativo (A3) continuaron siendo muy efectivas en el control, y los resultados fueron similares a los obtenidos en la medición anterior, sin diferencias significativas entre ambos y presentando diferencias con el ácido acético.

Para *Conyza spp.* y *H. radicata* no se obtuvieron diferencias significativas entre las diferentes alternativas en esta tercera evaluación (p-valor > 0,05). Por lo que el control de estas especies con estos métodos fue igual.

Se puede observar en esta fecha que *Conyza spp.* presentó un porcentaje de control menor a lo registrado en las evaluaciones anteriores con la alternativa de agua caliente (A1), esto se debe a nuevas emergencias. En *H. radicata* estas emergencias no fueron observadas, por lo que no se obtuvieron más registros.

En esta medición, el ácido acético (A2) obtuvo su máximo porcentaje de control en *B. incana* (35%) y *H. radicata* (45%), mientras que se dejó de observar su control en la maleza *Conyza spp.*, hecho esperable en función de lo

registrado en la medición anterior para esta especie. De todas formas, se puede observar que estos valores continuaron siendo deficientes para el control de malezas.

La alternativa de los herbicidas (A3) siguió evidenciando su efecto progresivo de control en esta medición donde se obtuvieron los mejores resultados para las tres malezas analizadas. *B. incana* (96%), *Conyza* spp. (100%) y *H. radicata* (100%) fueron eliminadas casi en su totalidad.

Cuadro No. 19. Porcentaje de control de las distintas especies bajo diferentes alternativas en la entrefila de plantación, evaluado el 18/09 a los 59 dpa

| | | <i>B. Incana</i> | <i>Conyza</i> spp. |
|--------------|--------------------------------------|------------------|--------------------|
| p-valor | | 0,0074 | 0,0444 |
| Alternativas | | Media | Media |
| A1 | Máquina de agua caliente (Foamstrem) | 85 A | 65 AB |
| A2 | Ácido acético (al 30%) | 22 B | 1 B |
| A3 | Control operativo (herbicidas) | 97 A | 100 A |

Esta última evaluación permitió observar una vez más lo que venía ocurriendo en las mediciones anteriores, donde las alternativas con agua caliente (A1) y control operativo (A3) representaron los mejores porcentajes de control en estas malezas.

Para el ácido acético (A2), como era esperable en esta medición su porcentaje continuó siendo deficiente al igual que lo observado en todas las evaluaciones por lo que no representa una alternativa para el control de malezas.

En esta medición las alternativas de agua caliente (A1) y control operativo (A3) ya habían controlado totalmente la especie *H. radicata*. Respecto al ácido acético (A2) no se pudo realizar el análisis ya que la cantidad de individuos presentes no era representativa. Por estas razones es que no hay registros de *H. radicata* en el Cuadro 19.

Luego de evaluados los porcentajes de control en las diferentes fechas para todas las alternativas aplicadas en el experimento, la última medición correspondió al porcentaje de cobertura final, la cual permitió asociar el control con nuevas emergencias y hasta rebrotes en algunos casos.

Cuadro No. 20. Porcentaje de cobertura final en las alternativas 1, 2 y 3 evaluadas el 16/10, a los 87 dpa

| Alternativas | | Promedio (%) | Desvío | CV |
|--------------|--------------------------------------|--------------|--------|----|
| A1 | Máquina de agua caliente (Foamstrem) | 57 | 6 | 10 |
| A2 | Ácido acético (al 30%) | 96 | 2 | 2 |
| A3 | Control operativo (herbicidas) | 21 | 5 | 26 |

El control operativo (A3) resultó ser la alternativa que al final del experimento obtuvo el menor porcentaje de cobertura (21%), es decir, realizó el mayor control de malezas, constatándose el efecto residual del herbicida isoxaflutole y el efecto de clopyralid sobre las malezas de hoja ancha.

El agua caliente (A1), con un porcentaje de cobertura de 57%, aunque sigue siendo menor que la cobertura inicial, representa un alto enmalezamiento. De todas formas, se debe tener en cuenta que esta medición fue realizada a los 87 dpa, casi tres meses después de instalado el experimento. Por lo tanto, no se puede decir que es una alternativa que no ejerce control, ya que en las primeras mediciones se obtuvieron resultados excelentes, pero al no tener residualidad se establecieron nuevas malezas.

Los porcentajes de cobertura final obtenidos con ácido acético (A2) (96%), eran esperables debido a los bajos porcentajes de control observados durante las mediciones, incluso comparándolo con el enmalezamiento inicial, se puede ver un aumento de un 20% en la cobertura durante este período de tiempo.

Comparando lo observado en este experimento con lo del experimento 1, las alternativas de agua caliente (A1), ácido acético (A2) y control operativo (A3) luego de aplicadas transcurrieron de forma muy similar en ciertos aspectos.

El desarrollo de los síntomas provocados por la aplicación de las alternativas de agua caliente (A1) y ácido acético (A2) ocurrieron de forma rápida, inmediatamente después de aplicados y de la misma manera independientemente de la de maleza, es decir en las diferentes especies presentes en la fila y entrefila se registraron similares procesos.

En las Figuras 19 y 20 se puede observar los síntomas de estas alternativas en *Conyza* spp. (experimento 3), los que fueron mostrados con anterioridad para la especie *B. incana* (Figura 14) y descritos en el ítem 4.1 (experimento 1).



Figura No. 19. *Conyza* spp. antes de la aplicación con máquina de agua caliente (A1), el 20/07 e inmediatamente después de la misma



Figura No. 20. *Conyza* spp. antes de la aplicación de ácido acético (A2), el 20/07 y al día siguiente de la misma

En relación al control operativo (A3), el porcentaje de control aumentó de forma gradual en el tiempo, logrando un máximo en las últimas mediciones.

El rápido control obtenido con la alternativa de agua caliente se repite tanto en la fila como en la entrefila como se puede observar en la Figura 21, logrando un porcentaje de control muy efectivo en las primeras mediciones, lo que fue disminuyendo con el transcurso del tiempo.



Figura No. 21. Parcela con alternativa de agua caliente (A1), el 30/07 a los 9 dpa

4.4. COMENTARIOS GENERALES DE ALTERNATIVAS

La composición de las malezas presentes en la fila (experimento 1) y en la entrefila (experimento 3) fueron muy diferentes. Mientras que en el experimento 1 la maleza principal fue *B. incana*, en el experimento 3 se observó una mayor diversidad de especies.

Es importante destacar estas diferencias ya que las alternativas aplicadas afectan de forma diferente a las malezas según sean gramíneas u hoja ancha, y en función de las distintas especies. Además, esto también puede determinar diferencias en los resultados en ambos experimentos.

De la alternativa con máquina de agua caliente (A1) se destaca como resultados positivos su amplio espectro y el rápido control de malezas, permitiendo la desecación total de *Conyza* spp. y *H. radicata* (con un máximo control de 100% a los 9 dpa) y demostrando la alta eficiencia en el control en etapas tempranas de desarrollo.

En *B. incana*, también fue eficiente el control, obteniendo un porcentaje máximo de control aproximado de 92% en la fila y entrefila a los 9 dpa. Los controles no se mantuvieron porque las plantas se recuperaron, esto puede relacionarse a las características morfológicas de la especie y al avanzado grado de desarrollo que presentaba.

Un aspecto relevante, es que la falta de residualidad de la alternativa determina una infestación rápida a partir de nuevas emergencias ya que el suelo queda descubierto. Esta situación de suelo descubierto luego de la aplicación puede representar una limitante, ya que puede generar efectos negativos, como por ejemplo erosión.

La elección del agua caliente como una alternativa al control de malezas debe tener en cuenta el gran gasto de agua por hectárea y la velocidad de aplicación, lo que varía en función de la densidad de malezas presente. Su aplicación en la fila de plantación debe realizarse con cuidado para no generar daños en el árbol, situación que provoca que permanezcan malezas sin control en contacto con el mismo (Figura 22).



Figura No. 22. Aplicación de agua caliente en la fila de plantación alrededor del árbol, y después de la aplicación con la maleza que no pudo ser controlada

Según lo observado en los experimentos, un mayor enmalezamiento en la entrefila, hizo que en esta alternativa la velocidad de aplicación fuera más lenta, mientras que en la fila la aplicación fue más rápida.

Teniendo en cuenta estos factores, es una herramienta que podría ser eficiente para el control de malezas en viveros y en espacios reducidos. Las altas temperaturas que alcanza, además de disminuir la germinación de semillas de malezas, podría controlar esporas y otras estructuras reproductivas según la bibliografía consultada.

Según los resultados obtenidos en los experimentos realizados podría ser eficiente utilizarlo con malezas resistentes a los herbicidas (por ejemplo *Conyza* spp.), en campos con infestación de diversas malezas y zonas donde el control químico no está permitido, casos donde el costo de aplicación justifica su uso.

La alternativa con ácido acético (A2) no presentó buenos resultados, y alguna de las explicaciones puede ser que no haya tenido un contacto suficiente con las plantas, lo que es necesario para que la alternativa sea efectiva, al volumen de aplicación/ha o al tamaño de gota utilizado.

Es posible que el ajuste de volumen permita mejores resultados, ya que según la bibliografía consultada, es una alternativa que logra un control efectivo con mayores volúmenes. Además, podría resultar efectivo aplicarlo en etapas tempranas del desarrollo de la maleza. Estos factores determinaron un mayor control en otros trabajos consultados.

Los resultados de control en la fila y entrefila indican que no fue efectivo y demostraron un efecto diferente en función de las especies presentes, aunque siempre deficiente.

La tecnología de descarga eléctrica (A4) utilizada obtuvo muy buenos resultados en el control de *B. incana*, pero como solamente fue aplicada en el experimento 1, no fue posible evaluar su efecto en otras especies de malezas por ausencia de las mismas en la fila.

La velocidad de aplicación fue extremadamente lenta lo que representó una limitante en este trabajo. Esto se debe a las características de la máquina utilizada, donde el contacto con las malezas era reducido lo que limitó la información obtenida en el desarrollo del trabajo, y dificultó su evaluación en toda la unidad experimental.

Los buenos resultados de control obtenidos en este trabajo, demuestran que la tecnología fue efectiva para el control de malezas, siendo necesario evaluarla en diferentes especies y con la máquina de descarga adecuada, adaptada a la forestación.

La alternativa con Liquid mulch (A6) se destacó de las demás por ser la alternativa que a lo largo del experimento 1 siempre tuvo menor presencia de malezas, logrando controlar las emergencias de forma muy efectiva. A su vez, obtuvo buenos resultados en el desarrollo de los árboles.

Cabe destacar que su modo de acción es preemergente, es decir que no tiene efecto en el control de malezas ya establecidas. Al ser un producto natural, formado por celulosa, es viable que las empresas forestales puedan producir el mulch con sus propios residuos vegetales, lo que representa una oportunidad y facilitaría la obtención del producto.

Su aplicación resultó en general un proceso muy lento ya que las herramientas eran básicas, lo que dificultó el procedimiento. Otra limitante a tener en cuenta es el alto consumo de agua que requiere el producto para su dilución.

El hecho de que la aplicación de esta alternativa requiera una superficie plana para generar una cobertura homogénea, representa una dificultad para instalarlo como alternativa al control de malezas en sitios donde se establecen segundas y terceras rotaciones. Además, habría que evaluar el efecto de la compactación del suelo generada por el rodillo, lo que generó una incógnita en los resultados de esta aplicación.

Mejorando estos factores, en especial los referidos a las herramientas y tecnología de aplicación, el Liquid mulch podría ser una alternativa al control de malezas en plantaciones donde el uso de químicos representa una amenaza, como por ejemplo cerca de centros poblados y cursos de agua.

En general todas las alternativas evaluadas, realizando nuevas investigaciones y los ajustes anteriormente mencionados, podrían ser alternativas promisorias para integrarlas a un plan de manejo de malezas, donde el enfoque sea realizar un manejo integrado con otras formas de control y así poder reducir el uso de herbicidas.

Esto permitiría aumentar la eficiencia en el control de malezas, mitigar efectos negativos generados por el uso de herbicidas, promoviendo la sustentabilidad de los sistemas de producción.

5. CONCLUSIONES

La alternativa con agua caliente en las condiciones de los experimentos logró un buen control de malezas, donde fue posible su uso en la fila y entrefila. Los niveles de control presentaron diferencias para las diferentes especies de malezas presentes. En relación al potencial de la alternativa en el control de emergencias, los resultados fueron promisorios.

El ácido acético, no resultó una alternativa promisoriosa. En las condiciones de este trabajo, no resultó eficiente en el control de malezas ni en el control de emergencias.

La tecnología de la descarga eléctrica presentó excelente control de malezas, con las que estuvo en contacto directo.

La alternativa del Liquid mulch resultó una alternativa efectiva y con residualidad hasta los 65 dpa, siendo la cobertura en spot próximo al árbol suficiente para la mayor respuesta de crecimiento de los árboles.

El control operativo con herbicidas post y preemergentes presentó un buen control de malezas en la fila y entrefila y presentó la residualidad esperada para los productos utilizados.

6. RESUMEN

El cultivo forestal se caracteriza por presentar rotaciones de largo plazo, sin embargo, las etapas iniciales son las más sensibles a la interferencia de malezas, especialmente durante el primer año. En la actualidad el control químico con herbicidas es el más utilizado, pero la búsqueda de una mayor sustentabilidad de la producción, así como exigencias en la certificación, determinan la necesidad de investigar otras alternativas no químicas. Este marco impulsó la realización de este trabajo exploratorio, cuya finalidad es aportar información de las potencialidades de otras alternativas de control de malezas no químicas para las plantaciones de *Eucalyptus* spp. El trabajo se llevó a cabo en un establecimiento próximo a la localidad de Carlos Reyles, propiedad de la empresa Forestal Oriental S.A. Para ello, se instalaron tres experimentos en una plantación de *Eucalyptus dunnii*. El experimento uno tuvo como objetivo evaluar distintas alternativas al control de malezas en la fila de plantación. El diseño experimental fue de bloques completos al azar (DBCA), con 5 repeticiones en parcelas formadas por una fila con 10 árboles. Las alternativas evaluadas fueron agua caliente usando el equipo Foamstrem (A1), ácido acético al 30% (A2), control operativo (herbicidas: haloxifop (Halaxy 1 l/ha) + clopyralid (Cardex 480 SL 1 l/ha) + isoxaflutole (Zethin 300 g/ha) + s-metolaclo (Alfamex 1,4 l/ha)) (A3), descarga eléctrica Zasso (A4), Liquid mulch (A6), más un testigo sin control de malezas (A5). Los resultados de control del experimento uno fueron muy diferentes en cada fecha de evaluación, a los 9, 23, 38 y 59 días post aplicación (dpa). Las alternativas Foamstrem y control con herbicidas lograron muy buenos controles, superando los alcanzados con el ácido acético, el que fue ineficiente. Si bien los controles que realizó el agua caliente proporcionada por la máquina Foamstrem fueron buenos inicialmente, esta alternativa carece de residualidad, generando un enmalezamiento importante a partir de los 38 dpa. En el caso del control con la descarga eléctrica, por el tipo de herramienta solamente se logró efectividad en malezas individuales y de menor desarrollo y también se destaca como debilidad la inexistencia de residualidad en el control. La alternativa con Liquid mulch colocado en una capa en una superficie promedio de 0.9 m² alrededor del árbol no presentó emergencias de malezas hasta los 65 dpa. Esta alternativa no afectó el normal crecimiento y desarrollo de los árboles. El experimento dos se realizó para evaluar el efecto en la germinación de semillas, para lo cual se utilizó *Lolium* spp. como bioindicadora. El diseño de este experimento fue un diseño completamente aleatorizado (DCA), con 6 repeticiones en surcos de un metro, donde se sembraron 100 semillas. Se evaluaron las alternativas A1, A2, A3, A4 y A5. En el experimento dos las alternativas que fueron más eficientes en el control de la germinación de semillas fueron A3 y A1. Los porcentajes de germinación en A2 y el testigo fueron mayores y similares, lo que demuestra un ineficiente control del ácido acético sobre la germinación de *Lolium* spp.

Finalmente, se realizó un tercer experimento con el objetivo de evaluar el control en diversas malezas de mayor desarrollo presentes en una unidad experimental que consistió en una entrefila de 17m². El diseño consistió en un DBCA con 5 repeticiones siendo las alternativas evaluadas A1, A2 y A3. Las evaluaciones se realizaron a los 9, 23, 38 y 59 días post aplicación (dpa). Los resultados obtenidos fueron similares al experimento uno, pero evaluados en *B. incana*, *Conyza* spp. y *H. radicata*. Al principio de las mediciones, la alternativa con agua caliente obtuvo los mejores porcentajes de control para las tres especies de malezas analizadas. En *B. incana* el control fue parcial, las plantas se recuperaron y debido a su falta de residualidad nuevas emergencias ocurrieron. El ácido acético no presentó buenos porcentajes de control, sin embargo, evidenció un control diferenciado según la especie de maleza presente. El control operativo fue aumentando su control de forma gradual, resultando en la alternativa que obtuvo los mejores resultados, consecuencia de su residualidad. El enmalezamiento final evaluado a los 87 dpa, determinó que la alternativa con menor cobertura fue A3, seguida por A1 y finalmente A2 con un porcentaje de cobertura que casi alcanzó el 100%.

Palabras clave: Malezas; *Eucalyptus dunnii*; Agua caliente; Ácido acético; Herbicidas; Descarga eléctrica; Liquid mulch.

7. SUMMARY

Forest cultivation is characterized by presenting long rotations, however, the initial stages are the most sensitive to weed interference, especially during the first year. Actually, chemical control with herbicides is the most used, but the search for sustainability of production as well as requirements in certification, determine the need to investigate other non-chemical alternatives. This has impelled to realize this exploratory work, the purpose of which is to provide information on the potential of other non-chemical weed control alternatives for eucalypt's plantations. The work took place near Carlos Reyles, in an establishment owned by the company Forestal Oriental S.A. For this, three experiments were installed. The objective of experiment one was to evaluate different alternatives to weed control in the planting row of *Eucalyptus dunnii*. The experiment was designed as a randomized complete block (DBCA), with 5 repetitions in plots formed by a row with 10 trees. The alternatives evaluated were hot water using the Foamstrem equipment (A1), acetic acid 30% (A2), operational control (herbicides: haloxifop (Halaxy 1 l/ha) + clopyralid (Cardex 480 SL 1 l/ha) + isoxaflutole (Zethin 300 g/ha) + s-metolachlor (Alfamex 1.4 l/ha)) (A3), electrical discharge Zasso (A4), Liquid mulch (A6), and a check unweeded control (A5). The control results of experiment one were very different on each evaluation date, at 9, 23, 38 and 59 days post application (dpa). The alternatives Foamstrem and herbicides achieved very good controls, exceeding those achieved with the acetic acid, which was inefficient. Although the alternative with hot water was good initially, this alternative lacks residuality, generating a significant weeding from 38 dpa. In the case of control with electrical discharge, due to the type of tool, effectiveness was only achieved in individual and less developed weeds. It's a weakness the lack of residuality in the control. The alternative with Liquid mulch placed in a layer on an average surface of 0.9 m² around the tree did not present weed emergencies until 65 dpa. This alternative didn't affect the normal growth and development of the trees. Experiment two was carried out to evaluate the effect on seed germination, for which was used *Lolium* spp. as a bioindicator. The design of this experiment was a completely randomized design (DCA), with 6 repetitions in rows of one meter, where 100 seeds were sown. Alternatives A1, A2, A3, A4 and A5 were evaluated. In experiment two, the alternatives that were more efficient in controlling seed germination were A3 and A1. The germination percentages in A2 and the check were higher and similar, which shows an inefficient control of acetic acid on the germination of *Lolium* spp. Finally, a third experiment was carried out with the objective of evaluating the control in several and more developed weeds present in an experimental unit that consisted of a 17m² between rows. The design consisted of a DBCA with 5 repetitions being the alternatives evaluated A1, A2 and A3. The evaluations were carried out at 9, 23, 38 and 59 days post application (dpa). The results obtained were similar to

experiment one, but evaluated in *B. incana*, *Conyza* spp. and *H. radicata*. At the beginning the hot water alternative obtained the best control percentages for the three weed species analyzed. In *B. incana* the control was partial, the plants recovered and due to their lack of residuality new emergencies occurred. Acetic acid did not present good control percentages, however, it showed a differentiated control according to the species of weed present. Operational control gradually increased its control, resulting in the alternative that obtained the best results, as a consequence of its residuality. The final weeding evaluated at 87 dpa, determined that the alternative with the lowest coverage was A3, followed by A1 and finally A2 with a coverage percentage that almost reached 100%.

Keywords: Weeds; *Eucalyptus dunnii*; Hot water; Acetic acid; Herbicides; Electrical discharge; Liquid mulch.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Abouziena, H. F.; Omar, A. A.; Sharma, S. D.; Singh, M. 2009. Efficacy comparison of some new natural-product herbicides for weed control at two growth stages. *Weed Technology*. 23(3):431-437.
2. Alvarado, A.; Carrera, D.; Yance, G. 2016. Estudio del impacto en el control natural de malezas a partir del vinagre. (en línea). *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*. dic. 2016:s.p. Consultado 2 feb. 2021. Disponible en <http://www.eumed.net/rev/caribe/2016/12/vinagre.html>
3. Arce, G. D. 2001. Evaluación técnica del vinagre para el manejo de malezas. Tesis Ing. Agr. Zamorano, Honduras. Universidad Zamorano. 21 p.
4. Arnold, R.; McLeod, I.; Clarke, B. 2009. *Eucalyptus dunnii maiden*: dunns white gum. *In*: Clarke, B.; McLeod, I.; Vercoe, T. eds. *Trees for farm forestry: 22 promising species*. Canberra, RIRDC. pp. 69-78.
5. Bennadji, Z. 1996. Clonación de especies de *Eucalyptus*. *In*: Jornada Forestal (1996, Tacuarembó). Memorias. Montevideo, Uruguay, INIA. s.p. (Serie Técnica no. 120).
6. Billeaud, L. A.; Zajicek, J. M. 1989. Influence of mulches on weed control, soil pH, soil nitrogen content, and growth of *Ligustrum japonicum*. *Journal of Environmental Horticulture*. 7(4):155-157.
7. Boland, D. J.; Brooker, M. I. H.; Chippendale, G. M.; Hall, N.; Hyland, B. P. M.; Johnston, R. D.; Kleinig, D. A.; McDonald M. W.; Turner, J. D. 2006. *Forest trees of Australia*. 5th. ed. Victoria, Australia, CSIRO. 736 p.
8. Brainard, D. C.; Curran, W. S.; Bellinder, R. R.; Ngouajio, M.; VanGessel, M. J.; Haar, M. J.; Lanini, W. T.; Masiunas, J. B. 2013. Temperature and relative humidity affect weed response to vinegar and clove oil. *Weed Technology*. 27(1):156-164.
9. Brighenti, A. M.; Brighenti, D. M. 2009. Controle de plantas daninhas em cultivos orgânicos de soja por meio de descarga elétrica. *Ciência Rural*. 39(8):2315-2319.

10. _____; Oliveira, M. F.; Filho, S. A. C. 2018. Controle de plantas daninhas por roçada articulada e eletrocussão. *In*: Oliveira, M. F.; Brighenti, A. M. eds. Controle de plantas daninhas: métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatía. Brasília, EMBRAPA. pp. 34-51.
11. Cock, M. J. W. 1996. Control biológico de malezas. (en línea). *In*: Labrada. R.; Caseley, J. C.; Parker, C. eds. Manejo de malezas para países en desarrollo. Roma, FAO. s.p. Consultado 2 feb. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/3/t1147s0d.htm>
12. Collins, M. 1999. Thermal weed control, a technology with a future? *In*: Australian Weed Conference- Weed Management into the 21st. Century: do we know where we're going (12th., 1999, Hobart, Tasmania). Proceedings. Hobart, Council of Australasian Weed Societies. pp. 25-28.
13. Constantin, J. 2011. Métodos de manejo. *In*: Constantin, J.; Hiroko, M.; Silvério, R. eds. Biologia e manejo de plantas daninhas. Curitiba, PR, Omnipax. pp. 67-78.
14. Davies, R. J. 1987. Trees and weeds: weed control for successful tree establishment. London, HEMSO. 37 p.
15. De Cauwer, B.; De Keyser, A.; Biesemans, N.; Claerhout, S.; Reheul, D. 2016. Impact of wetting agents, time of day and periodic energy dosing strategy on the efficacy of hot water for weed control. *Weed Research*. 56(4):323-334.
16. Diprose M. F.; Balls, R.; Holland R.E.B. s.f. Electrical weed control in the UK - the current situation. *Balkan Agricultural Engineering Review*. 13(4):s.p.
17. _____; Benson, F. A.; Hacham, R. 1980. Electrothermal control of weed beet and bolting sugar beet. *Weed Research*. 20(5):311-322.
18. _____; _____; Willis, A. J. 1984. The effect of externally applied electrostatic fields, microwave radiation and electric currents on plants and other organisms, with special reference to weed control. *The Botanical Review*. 50(2):171-223.
19. Domenghini, J. C. 2020. Comparison of acetic acid to glyphosate for weed suppression in the garden. *Horttechnology*. 30(1):82-87.

20. Drury, S. 2020. Are there commercially-viable options to tackle weeds without chemicals? (en línea). London, Haymarket Media Group. s.p. Consultado 2 feb. 2021. Disponible en <https://www.hortweek.com/commercially-viable-options-tackle-weeds-without-chemicals/landscape/article/1688082>
21. Erenstein, O. 2003. Smallholder conservation farming in the tropics and sub-tropics: a guide to the development and dissemination of mulching with crop residues and cover crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 100(1):17-37.
22. Evans, G. J.; Bellinder, R. R. 2009. The potential use of vinegar and a clove oil herbicide for weed control in sweet corn, potato, and onion. *Weed Technology*. 23:120-128.
23. _____.; _____.; Hahn, R. R. 2011. Integration of vinegar for in-row weed control in transplanted bell pepper and broccoli. *Weed Technology*. 25(3):459-465.
24. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). s.f. Recomendaciones para el manejo de malezas. Roma. 55 p.
25. Félix, E.; Urioste, S. 2016. Primer reporte de resistencia de poblaciones de *Lolium multiflorum* a glifosato en Uruguay y susceptibilidad de estas a herbicidas inhibidores de la ACCasa. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 48 p.
26. Ferreira da Silva, A.; Concenço, G.; Aspiazú, L.; Galon, L.; Alves Ferreira, E. 2018. Métodos de controle de plantas daninhas. In: Oliveira, M. F.; Brighenti, A. M. eds. Controle de plantas daninhas: métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia. Brasília, EMBRAPA. pp. 11-33.
27. Ferrer, P.; Lirola, V. 2012. La actividad forestal en Uruguay: beneficios fiscales y su control. *Revista de Derecho*. 11(21):119-169.
28. FSC (Forest Stewardship Council, DE). 2015. Estándar internacional FSC: indicadores genéricos internacionales. Bonn. 97 p.

29. _____. 2019. Listas FSC de pesticidas altamente peligrosos. Bonn. 34 p.
30. George, B. H.; Brennan, P. H. 2002. Herbicides are more cost-effective than alternative weed control methods for increasing early growth of *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus saligna*. *New Forests*. 24:147-163.
31. Giepen, M.; Skora Neto, F.; Köpke, U. 2018. Herbicidas naturais com potencial para uso em agricultura orgânica. In: Oliveira, M. F.; Brighenti, A. M. eds. *Controle de plantas daninhas: métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatía*. Brasília, EMBRAPA. pp. 82-112.
32. Hansson, D.; Ascard, J. 2002. Influence of developmental stage and time of assessment on hot water weed control. *Weed Research*. 42(4):307-316.
33. _____.; Mattsson, J. E. 2003. Effect of air temperature, rain and drought on hot water weed control. *Weed Research*. 43(4):245-251.
34. Heap, I. 2021. The International herbicide-resistant weed database. (en línea). s.l., Weed Science. s.p. Consultado 4 feb. 2021. Disponible en <http://www.weedscience.org>
35. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Unidad de Agro-clima y Sistemas de Información, UY). 2020. Base de datos agroclimáticos: Tacuarembó. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 2 feb. 2021. Disponible en <http://inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
36. Intendencia de Maldonado, UY. 2019. Maldonado nuevamente a la vanguardia en la limpieza de espacios públicos. (en línea). Maldonado. s.p. Consultado 5 feb. 2021. Disponible en <http://www.maldonado.gub.uy/?n=37318>
37. Intendencia de Montevideo, UY. 2020. Rige prohibición de usar glifosato en áreas verdes. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 5 feb. 2021. Disponible en <https://montevideo.gub.uy/noticias/urbanismo-e-infraestructura/rige-prohibicion-de-usar-glifosato-en-areas-verdes#:~:text=Qued%C3%B3%20reglamentado%20el%20decret>

[o%20que,%C3%A1reas%20verdes%20de%20la%20ciudad.&text=Los%20plaguicidas%20y%20herbicidas%20prohibidos,amigables%20con%20el%20medio%20ambiente.](#)

38. Intendencia de San José, UY. 2020. Reparticiones de la Intendencia disminuirán uso de herbicidas de síntesis y no utilizarán glifosato. (en línea). San José. s.p. Consultado 5 feb. 2021. Disponible en <https://www.sanjose.gub.uy/reparticiones-de-la-intendencia-disminuiran-uso-de-herbicidas-de-sintesis-y-no-utilizaran-glifosato/>
39. INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología, UY). 2020. Boletín pluviométrico: Durazno. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 2 feb. 2021. Disponible en <https://www.inumet.gub.uy/clima/recursos-hidricos/boletin-pluviometrico>
40. ISA (International Society of Arboriculture, US). 2011. Mature tree care. Atlanta. 2 p.
41. Karam, D. 2007. Novas e futuras alternativas de controle de plantas daninhas. In: Simpósio internacional amazônico sobre plantas daninhas (1º., 2007, Belém). Trabalhos apresentados. Sete Lagoas, EMBRAPA Milho e Sorgo. pp. 195-205.
42. Kolmans, E.; Vásquez, D. 1999. Manual de agricultura ecológica: una introducción a los principios básicos y su aplicación. 2ª.ed. La Habana, Grupo de Agricultura Orgánica de ACTAF. 157 p.
43. Kumar, V.; Bhat, A. K.; Sharma, V.; Gupta, N.; Sohan, P.; Singh, V. B. 2015. Effect of different mulches on soil moisture, growth and yield of eureka lemon (citrus limon burm) under rainfed condition. Indian Journal of Dryland Agricultural Research and Development. 30(1):83-88.
44. Lacasta, C. 2003. Alternativas al uso de herbicidas. (en línea). In: de las Heras, J.; Fabeiro, C.; Meco, R. eds. Fundamentos de agricultura ecológica: realidad actual y perspectivas. La Mancha, Universidad de Casilla. pp. 175-193 (Colección Ciencia y Técnica no. 41). Consultado 16 abr. 2020. Disponible en <https://books.google.com.uy/books?id=nBvZMsB7HFwC&pg=PA175&dq=Alternativas+al+uso+de+herbicidas&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj--LLe4->

[3oAhUTIbkGHVd0AylQ6AEIJjAA#v=onepage&q=Alternativas%20al%20uso%20de%20herbicidas&f=false](https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-01/Datos%20de%20superficie%20forestal%20al%202018.pdf)

45. Lanafil, UY. s.f. Etiqueta de herbicida Cardex 480 SD. Montevideo. s.p.
46. Mc Donald, P. M.; Fiddler, G. O.; Henry, T. W. 1994. Large mulches and manual release enhance growth of ponderosa pine seedlings. *New Forest*. 8:169-178.
47. Martelloni, L.; Frascioni, C.; Sportelli, M.; Fontanelli, M.; Raffaelli, M.; Peruzzi, A. 2019. The use of different hot foam doses for weed control. *Agronomy*. 9(9):1-17.
48. Methol, R. 1996. Control de malezas con herbicidas en plantaciones de Eucalyptus. *In: Jornada Forestal (1996, Tacuarembó). Memorias*. Montevideo, Uruguay, INIA. s.p. (Serie Técnica no. 120).
49. MGAP. DGF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General Forestal, UY). 2018a. Resultados de la cartografía forestal nacional del año 2018. Montevideo. 21 p.
50. _____. _____. 2018b. Superficie efectiva en hectáreas por uso forestal y especies por departamento (2018). (en línea). Montevideo. s.p. Consultado abr. 2020. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-01/Datos%20de%20superficie%20forestal%20al%202018.pdf>
51. _____. _____. 2020. Décima novena encuesta de viveros forestales año 2019. Montevideo. 16 p.
52. _____. DGSSAA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General de Servicios Agrícolas, UY). 2014. Etiqueta aprobada de producto fitosanitario. Montevideo. 5 p.
53. Montero, S. L. 2014. Utilização do vinagre triplo na dessecação de aveia preta em sistemas de plantio direto de milho orgânico. *Magister Scientiae*. Viçosa, Brasil. Universidade Federal de Viçosa. 38 p.
54. Oliveira, M. F.; Brighenti, A. M. eds. 2018. Controle de plantas daninhas: métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia. Brasília, EMBRAPA. 178 p.

55. Peerzada, A. M.; Chauhan, B. S. 2018. Thermal weed control: history, mechanisms, and impacts. *In*: Chauhan, B. S.; Jabran, K. eds. Non-chemical Weed Control. London, Academic Press. pp. 9-31.
56. Pereira, F. C. M.; Barroso, A. A. A.; Albrecht, A. J. P.; Alves, P. L. C. A. 2014, Interferência de plantas daninhas: conceitos e exemplos na cultura do eucalipto. *Journal of Agronomic Sciences*. 3:236-255.
57. Pole, E. G.; Carnell, D. 1987. Liquid mulch: No. 4,705,816. Alexandria, VA, USPTO. s.p.
58. Proquimur, UY. s.f. Etiqueta de herbicida Zethin. Canelones. s.p.
59. Radosevich, S.; Holt, J.; Ghera, C. 1997. Weed ecology: implications for management. 2nd. ed. New York, Wiley. 360 p.
60. Resquin, F. 2003. Evaluación de varias fuentes de semillas de *Eucalyptus dunnii*. *In*: Avances en Investigación y Transferencia de Tecnología en Zona de Prioridad Forestal 8 (2003, Durazno). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 21-24.
61. Richardson, B. 1993. Vegetation management practices in plantation forests of Australia and New Zealand. *Canadian Journal of Forest Research*. 23:1989-2005.
62. Riemens, M. 2016. Developments in physical weed control in Northwest Europe. *In*: Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -Bekämpfung (27., 2016, Braunschweig). Proceedings. Quedlinburg, Julius Kühn-Institut. pp. 24-26.
63. Sahin, H.; Yalinkılıç, M. 2017. Using electric current as a weed control method. *European Journal of Engineering Research and Science*. 2(6):59-64.
64. Shen, K.; Zheng, Y. 2017. Efficacy of bio-based Liquid mulch on weed suppression and water conservation in container nursery production. *Journal of Environmental Horticulture*. 35(3):103-110.
65. Sousa Silva, F.; Ragalzzi, R.; Da Silva, P. G.; Pereira, J.; De Araújo, R. 2017. Plantas daninhas na cultura do Eucalipto. (en línea). *Conexão Eletrônica*. 14(1):602-610. Consultado 2 feb. 2020. Disponible en <http://revistaconexao.aems.edu.br/edicoes->

[anteriores/2017/2017/ciencias-biologicas-e-ciencias-da-saude/?queries\[search\]=Plantas+daninhas+na+cultura+do+Eucalipto](https://www.hortweek.com/foamstream-provide-herbicide-free-weed-control-across-dublin/landscape/article/1701283)

66. Symonds, D. 2020. Foamstream to provide herbicide-free weed control across Dublin. (en línea). London, Haymarket Media Group. s.p. Consultado 2 feb. 2021. Disponible en <https://www.hortweek.com/foamstream-provide-herbicide-free-weed-control-across-dublin/landscape/article/1701283>
67. Taberner, A.; Cirujeda, A.; Zaragoza, Carlos. 2007. Manejo de poblaciones de malezas resistentes a herbicidas: 100 preguntas sobre resistencias. Roma, FAO. 67 p.
68. Tafirel, UY. s.f. Etiqueta de herbicida Alfamex 960 EC. Canelones. s.p.
69. _____. s.f. Ficha técnica Alfamex 960 EC. Canelones. s.p.
70. TNAU (Tamil Nadu Agricultural University, IN). 2013. Physical methods of weed control. (en línea). Coimbatore. s.p. Consultado 2 feb. 2021. Disponible en https://agritech.tnau.ac.in/agriculture/agri_weemgt_physicalmethods.html.
71. Van der Weide, R. Y.; Bleeker, P. O.; Achten, V. T. J. M.; Lotz, L. A. P.; Fogelberg, F.; Melander, B. 2008. Innovation in mechanical weed control in crop rows. European Weed Research Society. 48:215-224.
72. Vera, L.; Larocca, F. 2004. Evaluación económica de la producción de madera de eucalipto en el Nordeste de Entre Ríos: manejo tradicional vs. manejo con raleos. Concordia, INTA. 19 p.
73. Villalba, J.; Montouto, C.; Cazaban, J.; Caraballo, P.; Bentancur, O. 2010. Efecto del laboreo sobre la eficacia de herbicidas y el crecimiento de *Eucalyptus* spp. Agrociencia (Uruguay). 14(2):45-54.
74. _____. 2011. Control de malezas en *Eucalyptus* spp. In: Jornada Técnica de Protección Forestal (2010, Las Brujas, Canelones). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 1-8 (Actividades de Difusión no. 629).

75. Webber, C. L.; White Jr, P. M.; Shrefler, J. W.; Spaunhorst, D. J. 2018. Impact of acetic acid concentration, application volume, and adjuvants on weed control efficacy. *Journal of Agricultural Science*. 10(8):1-6.
76. Weedingtech, UK. s.f. Herbicide free weed control. Redefined. London, UK. 18 p.
77. Wei, D.; Liping, C.; Zhijun, M.; Guangwei, W.; Ruirui, Z. 2010. Review of non-chemical weed management for green agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 3(4):52-60.
78. Zasso Brasil Indústria e Comércio de Maquinas, BR. s.f. Ecotoxicology for digital herbicides: concepts and strategies for the recording of environmental effects of innovative weed control methods require evolved risk assessments. Indaiatuba, BR. 60 p.
79. _____. 2019. Capina elétrica manual IZI: guia rápida de aplicação. Indaiatuba, BR. s.p.

9. ANEXOS

Anexo No. 1. Foto del agua caliente tomada el 21 de julio antes de la aplicación



Anexo No. 2. Foto de la parcela con la alternativa de agua caliente sacada el 16 de octubre a los 87 dpa

