

Evaluación de herbicidas alternativos al uso de paraquat, solos o en combinación con chapias, para desecar el rastrojo de piña (*Ananas comosus* L.), Upala Agrícola S.A. Alajuela

Susan Daniela Chaves Arrieta



PRÁCTICA DIRIGIDA PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO AGRÓNOMO CON EL GRADO DE
LICENCIADO EN AGRONOMÍA


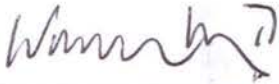
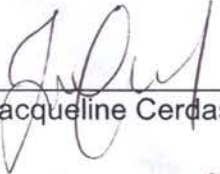
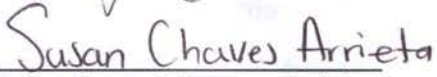
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SEDE REGIONAL DE GUANACASTE
CARRERA DE AGRONOMÍA

2022

Evaluación de herbicidas alternativos al uso de paraquat, solos o en combinación con chapias, para desecar el rastrojo de piña (*Ananas comosus* L.), Upala Agrícola S.A., Alajuela

Susan Daniela Chaves Arrieta

PRÁCTICA DIRIGIDA PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÓNOMO CON EL GRADO DE LICENCIADO EN
AGRONOMÍA

 _____ Dr. Franklin Herrera Murillo	DIRECTOR DE TESIS
 _____ Dr. Werner Rodríguez Montero	MIEMBRO DEL TRIBUNAL
 _____ M.Sc. Claudio Vargas Rojas	MIEMBRO DEL TRIBUNAL
 _____ M.Sc. Jacqueline Cerdas Solano	COORDINADORA DE CARRERA
 _____ B.Sc. Susan Chaves Arrieta	SUSTENTANTE

I. Índice de Contenidos

1. Introducción.....	2
2. Objetivos.....	5
2.1. Objetivo general.....	5
2.2. Objetivos específicos.....	6
3. Revisión de literatura.....	6
3.1. Descripción del ciclo de cultivo y su renovación.....	6
3.2. Técnicas de eliminación de rastrojo.....	7
3.3. Uso de herbicidas desecantes para la eliminación de rastrojo de piña.....	8
3.3.1.1. Paraquat.....	8
3.3.1.2. Fluroxipir.....	9
3.3.1.3. Bispiribac-Na.....	9
3.3.1.4. Imazamox.....	10
3.4. Chapia de la plantación.....	10
3.5. Incidencia de la mosca del establo en los rastrojos de piña.....	11
4. Materiales y métodos.....	11
4.1. Descripción del lugar de estudio.....	11
4.1.1. Localización.....	11
4.2.1. Condiciones ambientales.....	12
4.3.1. Período de estudio.....	12
4.4.1. Descripción de tratamientos.....	12
4.5.1. Procedimiento para la aplicación de los tratamientos.....	13
4.6.1. Diseño experimental y de arreglo de tratamientos.....	14
4.6.1.1. Unidad y área experimental.....	14
4.7.1. Variables de estudio.....	15
4.8.1. Análisis de datos.....	16
5. Resultados y discusión.....	18
5.1. Peso de las plantas de piña previo a la aplicación de los herbicidas.....	18
5.2. Efecto de los herbicidas en la desecación del rastrojo de piña.....	19
5.3. Número de plantas con rebrote.....	25

5.4. Incidencia de mosca del establo	27
5.5. Costos	29
6. Conclusiones:	30
7. Literatura citada	31
8. Anexos.....	36

II. Índice de Cuadros

Cuadro 1. Tratamientos desecantes para el manejo del rastrojo de piña para renovación. Veracruz, Alajuela, 2021.....	13
Cuadro 2. Escala de evaluación del porcentaje de desecación en el rastrojo de piña. Veracruz, Alajuela, 2020.	15

III. Índice de Figuras

Figura 1. Diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas para evaluar el efecto de tratamientos desecantes de rastrojo en piña para renovación, Upala Agrícola S.A. 2020	14
Figura 2. Peso promedio por planta de piña en la plantación (con o sin chapia, CC y SC, respectivamente) previo a la aplicación de los tratamientos desecantes en el manejo del rastrojo de piña para renovación. Veracruz, Alajuela, 2020. ..	18
Figura 3. Crecimiento de hijos axilares y basales, después de 30 días de realizada la chapia. Veracruz, Alajuela, 2020.	19
Figura 4. Porcentaje de desecación del rastrojo de piña en cada uno de los tratamientos evaluados. Veracruz, Alajuela, 2021.	21
Figura 5. Desecación del rastrojo de piña causado por el herbicida bispiribac sodio a los 59 DDA (A) y 77 DDA (B). Veracruz, Alajuela, 2021.	23
Figura 6. Desecación alcanzada en el rastrojo de piña por los tratamientos bispiribac sodio (A), paraquat (B) e imazamox (C) a los 90 DDA. Veracruz, Alajuela, 2021.....	23

Figura 7. Daño causado en los rebrotes y clorosis leve más quema de las puntas de las hojas de las plantas madre por el herbicida fluroxipir. Veracruz, Alajuela, 2021.....	24
Figura 8. Efecto de los tratamientos desecantes sobre el número de plantas con rebrote. Veracruz, Alajuela, 2021.....	26
Figura 9. Efecto de los tratamientos desecantes sobre el número de moscas (S.calcitrans). Veracruz, Alajuela, Costa Rica. 2021.....	28
Figura 10. Costo de aplicación por hectárea de cada uno de los herbicidas evaluados. Veracruz, Alajuela, Costa Rica. 2021.....	29

IV. Índice de Anexos

Anexo 1. Temperatura durante el período de evaluación de los herbicidas desecantes en el rastrojo de piña. Veracruz, Alajuela. 2020-2021.	36
Anexo 2. Condiciones de precipitación y evapotranspiración durante el período de evaluación de los herbicidas desecantes en el rastrojo de piña. Veracruz, Alajuela. 2020-2021.	36
Anexo 3. Condiciones de humedad relativa y radiación solar durante el período de evaluación de los herbicidas desecantes en el rastrojo de piña. Veracruz, Alajuela. 2020-2021.	37
Anexo 4. Porcentaje de desecación a los 15, 30, 45, 59, 77 y 90 días después de aplicar los diferentes herbicidas en el rastrojo de piña. Upala, Alajuela. 2021. .	38
Anexo 5. Plantas con rebrote a los 15, 30, 45, 59, 77 y 90 días después de aplicar los diferentes herbicidas en el rastrojo de piña. Upala, Alajuela. 2021.....	38

Resumen

Introducción. El cultivo de piña es la actividad más importante del sector agropecuario costarricense. Las plantaciones deben ser renovadas cada dos años, y se requiere eliminar el rastrojo de piña, para lo cual se ha utilizado el paraquat cuyo uso está prohibido por parte de las certificadoras, por lo que se requiere de otras alternativas. **Objetivo.** Evaluar el efecto de herbicidas, solos o en combinación con chapias, para desecar el rastrojo de piña, como otra alternativa al uso del paraquat, en sistemas de renovación de plantaciones de piña. **Materiales y métodos.** En la subfinca Veracruz propiedad de Upala Agrícola S.A, ubicada en el distrito Veracruz del cantón de los Chiles, provincia de Alajuela, en un lote de piña listo para renovación, se evaluaron ocho tratamientos, dispuestos en un diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas. Los tratamientos consistieron en cuatro herbicidas desecantes; fluroxipir, bispiribac sodio, paraquat e imazamox aplicados solos y en combinación con chapia y luego evaluados durante 90 días. Se determinó su efecto en el porcentaje de desecación de las plantas de piña, número de plantas de piña con presencia de rebrote, incidencia de larvas (L2, L3 y L4) y pupas de *S. calcitrans* y costo de los tratamientos. **Resultados.** El paraquat, bispiribac e imazamox provocaron el porcentaje deseado de desecación del rastrojo de piña (al menos 80%), a los 45, 55 y 90 días después de su aplicación (dda), respectivamente, redujeron la presencia de rebrotes después de los 15 dda, y hubo baja incidencia de la mosca del establo. El fluroxipir no fue eficaz para desecar el rastrojo de la piña, permitió mayor presencia de rebrotes y de la mosca del establo. El comportamiento de todos los herbicidas fue similar en ambas condiciones del rastrojo, con chapia previa o sin chapia. El tratamiento con mayor costo fue el de bispiribac, seguido de imazamox, mientras el de menor costo fue el paraquat. **Conclusiones.** La chapia previa aumentó los costos y no contribuyó de manera significativa a mejorar la eficacia de los herbicidas evaluados. El bispiribac sodio mostró el mayor potencial para ser utilizado como alternativa al paraquat en la desecación del rastrojo de piña en un tiempo aceptable y con baja presencia de mosca del establo, pero resultó de mayor costo.

1. Introducción

Importancia socioeconómica del cultivo de la piña en Costa Rica

La piña (*Ananas comosus*) es típica de regiones tropicales, pertenece a la familia Bromeliaceae. La variedad que se cultiva en Costa Rica es la MD-2, que se caracteriza por su alta producción y calidad de fruta fresca. En la actualidad, Costa Rica se ha convertido en el mayor productor y exportador de piña fresca en el mundo, debido a la adaptabilidad de la variedad de piña MD-2 a las condiciones agroecológicas, físicas y edáficas del país, por lo que su cultivo reviste especial importancia en la generación de divisas, empleo, desarrollo social y riqueza (Jiménez 1999; Bartholomew *et al.* 2003; Treviño 2018).

El 53 % de las exportaciones totales de piña fresca de Costa Rica se colocan en el mercado de Estados Unidos, mientras que el segundo comprador es la Unión Europea, hacia donde se exporta el 44 % de la fruta. A nivel país, producto de las exportaciones de piña a dichos destinos, el cultivo ha tenido una influencia positiva en la liquidez de las cuentas nacionales, el valor agregado, posicionamiento de marca, prestaciones sociales y beneficios para otras industrias (CANAPEP 2016).

Para el período 2018 el área de producción de piña en Costa Rica se estimó en cerca de 41 000 hectáreas, de las cuales el 51 % se ubicaron en la Región Huetar Norte, el 21 % en la Región del Pacífico Sur y 28 % en la Región Huetar Atlántica. Actualmente, el cultivo de piña es la actividad más importante del sector agropecuario como generadora de empleo y de ingresos económicos en Costa Rica; generó en el año 2018 cerca de \$989,56 millones en exportaciones, alrededor de 32 000 empleos directos y 120 000 indirectos. Además, el sector piñero se ha sometido voluntariamente a mejorar el manejo sostenible del medio ambiente y el aspecto social de las comunidades donde se desarrolla dicha actividad. Desde el punto de vista de agricultura ecológica, la piña se convierte en un cultivo de interés porque su producción debe ser realmente sostenible con bajo impacto ambiental (Treviño 2018; CANAPEP 2019). Según Brundtland citado por Bermejo (2015), el desarrollo sostenible es el que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus

propias necesidades, y su enfoque es tridimensional: la dimensión económica y la social en el concepto de desarrollo y la tercera es la sostenibilidad.

El problema de los rastrojos en la piña

PREPMC (2009), indicó que la piña es una bromeliácea de exuberante desarrollo de biomasa, capaz de producir dos cosechas exportables (una por año) en un período de dos años. Una vez terminados los dos ciclos anuales se elimina la biomasa (rastrojo) para iniciar una nueva producción del cultivo. Se estima que por hectárea se generan más de 250 toneladas de rastrojo, esto según la densidad de siembra y el peso de planta que exista al momento de generar el rastrojo (Alpízar 2007; López *et al.* 2009; González 2012; Fallas y Ramírez 2019).

La eliminación del rastrojo comprende dos técnicas tradicionales: la aplicación de herbicida como desecante (en algunos casos se realiza quema con fuego), y la derriba de plantación en verde; luego se procede a la trituración de la biomasa y aplicación de microorganismos descomponedores (PREPMC 2009; González 2012; Solórzano *et al.* 2013; Hernández y Prado 2018).

El manejo de derriba en seco se basa en la aplicación del herbicida dicloruro de 1,1'-dimetil-4,4'-bipiridilo (paraquat) como medio de secado químico, y los restos de material seco que quedan en campo se incorporan por medio de rastras; mientras que en la derriba en verde no se realiza aplicación de herbicidas químicos, sino que se corta el material y se aplican microorganismos descomponedores que aceleran el proceso de descomposición y secado del rastrojo. Esta última práctica tiene el inconveniente que puede retrasar la preparación del terreno hasta un mes, según las condiciones climáticas (González 2012; Hernández y Prado 2018). Además, con o sin uso de descomponedores, se procesa una gran cantidad de biomasa verde, que es atractiva para la proliferación de la mosca del establo (*Stomoxys calcitrans*) (Quesada 2003; Alpízar 2007; PREPMC 2009; González 2012; Solórzano *et al.* 2013; Hernández y Prado 2018).

Actualmente, muchos productores de piña están sometidos a certificaciones ambientales en su producción, tal como la norma *Rainforest Alliance*, que prohíbe la técnica de eliminar rastrojo con desecantes de efecto severo como el paraquat. Esto por ser una molécula que ha causado daños severos en la salud humana y en

el ambiente por toxicidad acumulativa (Rainforest Alliance 2017; Hernández y Prado 2018). También, está restringida la ejecución de quemas de rastrojos, debido a los aspectos negativos que se dan en las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, ya que se disminuye la biomasa microbiana, no se incorporan los nutrientes, y se generan gases de efecto invernadero (CH_4 y N_2O) (Taladriz y Schwember 2012; Ruiz *et al.* 2015; Fallas y Ramírez 2019). Por tal motivo, la derriba en verde es la más utilizada, debido a que genera algunos aspectos positivos como una mejor fertilidad del suelo, una mayor incorporación de la materia orgánica y una mayor retención de la humedad del suelo (González 2012; Salas 2018; Hernández y Prado 2018).

Como se ha descrito, la cantidad de biomasa producida por el rastrojo de piña es difícil de manejar, de aquí la importancia de buscar nuevas alternativas que reemplacen al paraquat como desecante, y que su aplicación no cause un impacto ambiental.

Moléculas de herbicidas alternativas al paraquat

Actualmente, existen otras moléculas (bispiribac sodio, fluroxipir e imazamox) que han obtenido resultados positivos, según su especificidad de manejo; en pastos, potreros, arroz y otros cultivos (combate de arvenses de difícil control) (Acosta y Agüero 2002; Hernández y Herrera 2002; Esqueda *et al.* 2005; Gómez *et al.* 2008; Brenes *et al.* 2008; Vázquez 2016; Morera 2017). En el caso de bispiribac sodio se recomienda para el rastrojo de piña ($5 \text{ kg PC}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Zell Chemie 2014). Con imazamox se han realizado estudios de eficacia para la desecación de rastrojos de piña con resultados positivos (Vázquez 2016). Con el fluroxipir se han realizado estudios preliminares en finca con resultados positivos (Torres 2019¹, comunicación personal). En los tres casos hay potencial de reducir la carga química con respecto al uso tradicional del paraquat, lo que reduce las probabilidades de contaminación ambiental.

¹ Torres, R. 2019. 12 de diciembre del 2019. Herbicida Tomahawk 20 EC para el control del rastrojo de piña (Comunicación personal). Upala Agrícola, Alajuela, Costa Rica.

La aplicación de desecantes permite disminuir la cantidad de biomasa a incorporar al suelo, y es una técnica que, siendo efectiva, puede ir de la mano con la ejecución de la mínima labranza, donde se puede dar un mejor reciclaje de nutrientes y disminuir la erosión de suelos. Un manejo adecuado del rastrojo permite evitar problemas de brotes de plagas y enfermedades, así como una menor espera para las labores de preparación y siembra de la nueva plantación. La desecación del rastrojo con herbicidas tiene la particularidad de romper con la resistencia a la degradación que confiere la biomasa a otras técnicas de manejo de rastrojo (Herrera 1997; Víquez 2008; PREPMC 2009; González 2012; Hernández y Prado 2018).

La quema del rastrojo con herbicidas se hace con el fin de facilitar la labor de preparación de suelos en piña para renovación. Con esta práctica se logra la conservación del suelo, ya que el terreno sigue cubierto por el residuo de la cosecha mientras se está desecando (Vázquez 2016). La quema del rastrojo con herbicida se ha logrado con éxito con el uso de paraquat, el cual tiene un efecto rápido de desecación (30 días aproximadamente) y una efectividad superior al 80 % (Vázquez 2016). No obstante, este ingrediente activo forma parte de las moléculas prohibidas para su uso en piña certificada *Rainforest Alliance*.

La bibliografía resulta escasa sobre el estudio de otras moléculas que puedan sustituir al paraquat. Por lo tanto, la importancia de evaluar nuevas alternativas de herbicidas en la eliminación de rastrojo de piña es esencial para reducir costos y buscar la efectividad de los herbicidas a una menor dosis de ingrediente activo por hectárea.

Dada la necesidad de alternativas para la desecación del rastrojo en piña a un menor costo y usando criterios agronómicos en inducción de senescencia y manejo de arvenses, se plantea la presente investigación.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de herbicidas, solos o en combinación con chapias, para desecar el rastrojo de piña, como otra alternativa al uso del paraquat, en sistemas de renovación de plantaciones de piña.

2.2. Objetivos específicos

1. Medir el efecto de los herbicidas, solos o en combinación con chapias, sobre el porcentaje de desecación del rastrojo de piña.
2. Cuantificar el efecto de la aplicación de herbicidas, solos o en combinación de chapias, sobre el número de rebrotes axilares en el rastrojo de piña.
3. Medir el efecto de la aplicación de herbicidas, solos o en combinación con chapias, sobre la incidencia de mosca del establo (*S. calcitrans*) en el rastrojo de piña.
4. Estimar la relación beneficio/costo de la aplicación de herbicidas, solos o en combinación con chapias, para desecar el rastrojo de piña.
5. Establecer cuál tratamiento es el mejor como alternativa al uso del paraquat en sistemas de renovación de plantaciones de piña.

3. Revisión de literatura

3.1. Descripción del ciclo de cultivo y su renovación

Según Alpizar y Arguedas (1990), la piña es un cultivo perenne que puede producir por muchos años, sin embargo, su calidad comercial para fines específicos de exportación solo se logra hasta una segunda cosecha. Esto debido a que con el tiempo disminuye la producción, hay mayor número de frutas de rechazo, y menor rango de calibres exportables y de aspectos básicos de calidad.

El ciclo comercial de la piña MD-2 es de 24,5 meses aproximadamente, durante el cual se cosechan dos ciclos de producción. La primera cosecha se realiza a los 12,5 meses y la segunda, 12 meses después. Una vez transcurrido este período se elimina la biomasa para iniciar un nuevo ciclo de producción. Esta biomasa, una vez vista como desecho, recibe el nombre de “rastrojo” (Quesada 2003; Pérez y Garbati 2004).

El rastrojo está formado por las hojas, tallos y raíces de la planta de piña que quedan al finalizar la segunda cosecha, y se caracteriza por ser fibroso, persistente y abrasivo, debido a su alto contenido de silicio. También, contiene haces vasculares fibrosos, específicos del cultivo, que le confieren gran resistencia a la torsión. La gran cantidad de biomasa producida dificulta las labores de trituración,

descomposición e incorporación del rastrojo al suelo, y requiere de una dosis alta de herbicida desecante por hectárea (Viquez 2008; López *et al.* 2009; González 2012).

3.2. Técnicas de eliminación de rastrojo

Según Brenes y Agüero (2007), González (2012), Solórzano y colaboradores (2013) y Salas (2018), debido a la gran producción de biomasa ($> 250 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) que se produce en piña, se hacen tres tipos de manejo:

1. Derriba en seco: tradicionalmente, y por ser un proceso más rápido de eliminación de rastrojo se ha hecho uso de herbicidas desecantes, donde se emplea el herbicida paraquat en dosis de 12-14 litros de producto comercial. ha^{-1} .

Este sistema consiste en realizar una aplicación del herbicida en altos volúmenes de agua ($3000 - 4000 \text{ l ha}^{-1}$) con el fin de alcanzar una aplicación homogénea. Una vez que el rastrojo muestra un efecto de secado, en algunos casos se realiza la quema con fuego, o bien se cortan los desechos que quedan, “ñongas” (tallos de las plantas adultas) y hojas, para luego incorporarlos al suelo con pases de rastra;

2. Derriba en verde: consiste en la trituración del rastrojo con maquinaria agrícola y la posterior incorporación del material orgánico al suelo. En esta práctica es común aplicar microorganismos descomponedores, que incrementan la tasa de mineralización del rastrojo y el aporte de microorganismos benéficos al suelo. Es el sistema con mayor riesgo de proliferación de mosca del establo (*S. calcitrans*), debido a un mayor volumen de biomasa húmeda.

En la derriba en verde hay que considerar la relación C/N, debido a que una relación alta puede provocar que, al descomponerse el rastrojo, el nitrógeno en este sea insuficiente para los microorganismos y las plantas, ya que esto puede disminuir el posterior rendimiento del cultivo por fuerte inmovilización de N y bajo contenido endógeno del elemento en el suelo (Aguirre *et al.* 2018).

3. Enterrado del rastrojo de piña en trincheras o fosas: consiste en hacer un entierro de los residuos en excavaciones realizadas con maquinaria agrícola, en algunas zonas de la plantación. Es una práctica que no se realiza regularmente, ya que puede aumentar la lixiviación de sustancias y su incorporación a fuentes subterráneas de agua. Este sistema implica un menor riesgo de proliferación de

mosca del establo (*S. calcitrans*), pero provoca una pérdida de la capa fértil del suelo, que presenta problemas de degradación y erosión.

3.3. Uso de herbicidas desecantes para la eliminación de rastrojo de piña

Garbanzo (2016), indicó que el uso de un herbicida desecante debe fundamentarse en una rápida senescencia de la planta a eliminar y evitar la reproducción de plagas en la misma. Además, el autor mencionó que es indispensable considerar los principios de clasificación de herbicidas; el modo de acción y el sitio o mecanismo de acción (ruta biológica sobre la que actúa un herbicida en la planta), para encontrar la mejor alternativa de manejo.

Por su parte, Acosta y Agüero (2002), mencionaron que se deben evitar los efectos secundarios de herbicidas cuando se usen dosis superiores a las recomendadas, ya que estos pueden generar efectos residuales en el suelo y en la salud humana. Estos autores indicaron que el uso de herbicidas se justifica bajo problemas específicos; donde la dosis a recomendar debe basarse en métodos científicos (evaluación previa en campo), con validez de la eficacia técnica y económica.

3.3.1.1. Paraquat

El uso de herbicidas para la eliminación de rastrojo de piña se ha basado principalmente en el herbicida paraquat, ingrediente activo dicloruro de 1,1'-dimetil-4,4'-bipiridilo, el cual tiene un efecto rápido de desecación (30 días aproximadamente) y una efectividad superior al 80 % (Vázquez 2016). Sin embargo, como se mencionó, tiene restricción para la producción certificada en piña. El paraquat o el diquat, se usan en una dosis mínima de 12 l.ha⁻¹ PC. Estos herbicidas inhiben el proceso fotosintético al interrumpir el flujo de electrones en el fotosistema I, provocando la formación de sustancias reactivas del oxígeno (ROS) que queman los tejidos verdes. Es un herbicida de contacto y provoca una rápida desecación del follaje (Brenes y Agüero 2007; López *et al.* 2009; Hernández y Prado 2018; MAG s.f.).

3.3.1.2. Fluroxipir

El uso de fluroxipir en piña se ha hecho en parcelas de observación, pero sin demostrar la eficacia técnica y económica para la desecación del rastrojo de piña (Torres 2019², comunicación personal). Este ingrediente activo pertenece a la familia ácidos piridincarboxílicos, e interfiere en la síntesis de ácidos nucleicos; altera la transcripción de ADN y la traducción de ARN, que provoca la inhibición de enzimas necesarias para el crecimiento. Los mecanismos de acción de herbicidas tipo auxinas incluyen una serie de procesos: biosíntesis de etileno, acumulación de ácido abscísico (ABA), inhibición de la elongación y división celular, inhibición de la transpiración y asimilación de CO₂; que provocan en la planta el cese del crecimiento, la ocurrencia de deformaciones, la desecación, la necrosis de tejidos y finalmente la muerte (Anzalone 2008).

La mezcla de triclopir y fluroxipir, a una dosis de 60 g i.a.100 l⁻¹, mostraron un buen combate de malezas perennes de difícil control en pastizales (*Sida acuta* y *Croton cortesianus*) (Esqueda *et al.* 2005).

Gómez y colaboradores (2008), lograron un grado de daño del 100 % a las ocho semanas de evaluación en el manejo de *Scleria melaleuca* (estado desarrollo 2 a 3 hojas) con el uso del herbicida triclopir (1080 g i.a.ha⁻¹), mientras que la mezcla de herbicidas fluroxipir + 2,4-D (1460 g i.a.ha⁻¹) ocasionó un daño menor de tan solo el 42 %.

3.3.1.3. Bispiribac-Na

El bispiribac-Na pertenece a la familia química pirimidil (tio) benzoatos. Este herbicida inhibe la enzima acetolactato sintetasa (ALS): disminuye la síntesis de aminoácidos de cadena ramificada: valina, isoleucina y leucina, como consecuencia ocurren varios eventos que conducen la planta a la muerte (Anzalone 2008; Morera 2017). Este herbicida tiene la particularidad de ejercer un control de arvenses a una dosis baja del ingrediente activo, entre ellas gramíneas, hojas anchas y algunas ciperáceas. En el cultivo de piña, es una alternativa de herbicida desecante del rastrojo; enfocado en disminuir la cantidad de ingrediente activo necesario para

² Torres, R. 2019. 12 de diciembre del 2019. Herbicida Tomahawk 20 EC para el control del rastrojo de piña (Comunicación personal). Upala Agrícola, Alajuela, Costa Rica.

ejercer un efecto de secado y ocasionar el mínimo impacto ambiental (Zell Chemie 2014). Respecto a lo anterior, Herrera (1997) indicó que, en el manejo específico de un problema que incluya el uso de herbicidas, lograr un combate a una dosis menor es un aspecto favorable dentro de la sostenibilidad del sistema, ya que los costos son menores y se coloca menor cantidad de herbicida en el ambiente.

3.3.1.4. Imazamox

El imazamox pertenece a la familia química de las imidazolinonas. Ejerce su acción herbicida en las arvenses mediante la inhibición de la acetolactato sintasa (ALS), una enzima que participa en la síntesis de tres aminoácidos de cadena abierta: valina, leucina e isoleucina. Esta inhibición interrumpe la síntesis proteica e interfiere más tarde con la síntesis del ADN y el crecimiento celular (Anzalone 2008).

En un estudio realizado por Vázquez (2016) en Costa Rica, se cuantificó un 80 % de desecación del rastrojo de piña con el uso del herbicida imazamox (familia: imidazolinonas; inhibición ALS) a una dosis de 1400 g i.a ha⁻¹. El efecto de desecación varió según el peso fresco promedio de las plantas evaluadas; para la Zona Norte fue a los 45 días (peso promedio 1,5 kg planta⁻¹), y a los 60 días en la Zona Atlántica (peso promedio 3,5 kg planta⁻¹). El mismo autor indicó que con el uso del herbicida imazamox no se reportó presencia de moscas del establo, esto a pesar de que la roseta de las hojas y parte superior del tallo mostró cierta descomposición.

3.4. Chapia de la plantación

González (2012), indicó que la chapia es una técnica de reducción de biomasa, con la cual se logra promover la desecación, aceleramiento y descomposición del rastrojo de piña. Esta práctica se puede aplicar tanto en derriba en verde como en seco. La realización de chapias al rastrojo de piña permite reducir la cantidad de biomasa a tratar con herbicidas desecantes, con ello se puede utilizar una menor dosis del producto comercial. Sin embargo, se deberá mantener la concentración del ingrediente activo por litro de agua a utilizar (Vázquez 2016). Brenes y colaboradores (2008), indicaron que al aplicar el herbicida metsulfuron metil (familia: sulfunilureas; inhibición ALS) en tallos de *Dieffenbachia oerstedii* (con chapia previa), fue más efectivo para inhibir rebrotes, en comparación con la translocación del herbicida a las yemas del tallo a partir de su aplicación a las hojas.

Por lo que la chapia y posterior aplicación de herbicidas inhibidores de ALS en piña para renovación podrían tener un efecto similar.

3.5. Incidencia de la mosca del establo en los rastrojos de piña

La mosca de establo aparece cuando se realiza la derriba de las plantaciones de piña, ya que necesitan de materia orgánica en descomposición para completar su ciclo de vida (González 2012). No obstante, esta plaga se puede reproducir en distintos rastrojos de cultivos de exportación (Solórzano *et al.* 2013).

Esta plaga no afecta directamente la producción del cultivo de piña, sin embargo, puede aumentar los costos de producción al tener que contrarrestar brotes de esta mosca mediante prácticas culturales y aplicación productos químicos para su control (Vargas 2019). La problemática de esta mosca es que se alimenta de la sangre de los animales y les provoca la disminución del consumo de alimento, la pérdida de peso y reducción de la producción de carne o leche. Aunado a esto, se han establecido umbrales económicos muy bajos de 25 moscas por animal, lo que implica un manejo muy exhaustivo de los rastrojos (Campbell *et al.* 2001; Vargas 2019).

González (2012) y Vargas (2019) indicaron que, en Costa Rica, las derribas de las plantaciones de piña están reguladas por el Decreto 26921-MAG “Reglamento a la Ley de Protección Fitosanitaria” No. 7664, el cual hace énfasis de las obligaciones que deben seguir los productores de piña en el manejo de los rastrojos, para reducir las poblaciones de plagas a un nivel que no representen un riesgo al cultivo, a la salud humana y animal. El no cumplimiento de la disposición anterior puede implicar el cese de las labores de preparación de terreno y empaque de fruta provenientes de fincas con alerta de mosca. En algunos casos las situaciones pueden conllevar a denuncias penales.

4. Materiales y métodos

4.1. Descripción del lugar de estudio

4.1.1. Localización

La investigación se llevó a cabo en una plantación propiedad de Upala Agrícola S.A. La finca se ubica en Veracruz, distrito Caño Negro del cantón de los

Chiles, provincia de Alajuela. La plantación se encuentra a una altitud de 60 m s.n.m. La precipitación promedio anual es de 2151 mm y la temperatura promedio anual es de 26,8 °C. La investigación se efectuó en la época lluviosa de septiembre a enero 2021.

4.2.1. Condiciones ambientales

Durante el periodo de estudio se presentó una temperatura que osciló de los 33,3 °C y los 20,1 °C con promedio de 26,7 °C, precipitación total de 747,4 mm, radiación promedio de 10,1 MJ.m² y una humedad relativa promedio de 78,2 % (Anexos 1, 2 y 3).

4.3.1. Período de estudio

El período de estudio fue desde la chapia de los tratamientos (05-09-2020) hasta la evaluación final, a los 90 días después de la aplicación de los herbicidas.

4.4.1. Descripción de tratamientos

El experimento consistió en evaluar el efecto de 4 herbicidas desecantes, solos o en combinación de una práctica cultural (chapia). En todos los casos, la chapia se efectuó un mes previo a la aplicación de los herbicidas desecantes en el manejo del rastrojo del cultivo de piña para renovación.

Se seleccionaron tres bloques de un lote específico (inició en fase de barbecho) para establecer el ensayo. Se escogió un lote cuyo barbecho provenía de un manejo de segunda cosecha por presentar mayor desarrollo de biomasa, y se manejó una densidad de plantación de 76 000 pl.ha⁻¹.

Para la selección del lote se tomó como referencia el peso promedio de plantas, para ello dentro del bloque se seleccionarán 20 plantas al azar, esto con el fin de estimar la cantidad de biomasa verde producida (t ha⁻¹) con base en la densidad de siembra de la finca. En cada parcela pequeña (con y sin chapia) se realizó el mismo proceso de pesado para determinar la biomasa, previo a la aplicación.

En el Cuadro 1 se muestran los ocho tratamientos utilizados para inducir la desecación del rastrojo de piña para renovación, y las dosis en que fueron empleados, en gramos de ingrediente activo por hectárea.

Cuadro 1. Tratamientos desecantes para el manejo del rastrojo de piña para renovación. Veracruz, Alajuela, 2021.

No.	Práctica cultural	Herbicida (nombre técnico)	Producto comercial	Dosis (g i.a.ha ⁻¹)
1	-	fluroxipir	TOMAHAWK 20 EC	1400
2	Chapia	fluroxipir	TOMAHAWK 20 EC	1400
3	-	bispiribac sodio	BISPINEE 40 WP	2000
4	Chapia	bispiribac sodio	BISPINEE 40 WP	2000
5	-	paraquat	PARAQUAT 20 SL	3000
6	Chapia	paraquat	PARAQUAT 20 SL	3000
7	-	imazamox	SWEEPER 700 DG	1400
8	Chapia	imazamox	SWEEPER 700 DG	1400

* La mención de los nombres comerciales es para indicar los productos utilizados en el experimento, pero no denotan recomendación o preferencias por ellos en particular.

4.5.1. Procedimiento para la aplicación de los tratamientos

Previo a la aplicación de los tratamientos, se realizó una calibración del equipo a usar con tal de aplicar el volumen deseado de 4000 l ha⁻¹, en el cual se adicionó al herbicida desecante, urea (25 kg ha⁻¹) y un coadyuvante siliconado de nombre comercial Silwet (0,3 l ha⁻¹), que es la práctica de la finca. Para la aplicación se utilizó un equipo acoplado al tractor con capacidad de almacenar un volumen de 6250 l. La aplicación de los herbicidas desecantes se realizó en una única ocasión sobre las parcelas pequeñas según el tratamiento correspondiente, 30 días después de haber realizado la chapia de forma aleatoria en las parcelas grandes. Este periodo de 30 días después de la chapia se hizo con la finalidad de que la hoja de piña cayera previamente al suelo y no interfiriera en la aplicación de los tratamientos (manejo actual de la finca). La aplicación se realizó de forma general sobre todas las plantas de piña, tanto a las plantas madre como a sus rebrotes, con la finalidad de permitir una mejor translocación del herbicida.

4.6.1. Diseño experimental y de arreglo de tratamientos

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas, se tomó en cuenta la pendiente del lote como criterio de bloqueo. Se estableció la chapia como factor de evaluación en las parcelas grandes y el factor herbicida en las parcelas pequeñas. Se utilizaron tres repeticiones por tratamiento.

4.6.1.1. Unidad y área experimental

En el área efectiva de 1,26 hectáreas se establecieron tres bloques. Cada bloque fue de 0,42 hectáreas (117,6 m de largo × 36 m de ancho). Cada bloque se dividió en dos secciones de 2116,8 m² (36 m de ancho × 58,8 m de largo) que correspondieron a las parcelas grandes, donde se asignaron de manera aleatoria los niveles correspondientes al factor chapia. Luego de forma perpendicular a las parcelas grandes, se ubicaron las parcelas pequeñas de 529,2 m² (14,7 m de ancho × 36 m de largo) donde se asignaron de manera aleatoria los niveles del factor herbicida. En la Figura 1, se muestra la distribución del diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas.

B1	fluroxipir	imazamox	bispiribac	paraquat	paraquat	bispiribac	imazamox	fluroxipir
B2	imazamox	bispiribac	paraquat	fluroxipir	fluroxipir	bispiribac	imazamox	paraquat
B3	bispiribac	imazamox	fluroxipir	paraquat	imazamox	fluroxipir	bispiribac	paraquat

Figura 1. Diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas para evaluar el efecto de tratamientos desecantes de rastrojo en piña para renovación, Upala Agrícola S.A. 2020 (gris oscuro= parcelas con chapia, blanco= parcelas sin chapia).

4.7.1. Variables de estudio

- a) Porcentaje de desecación de las plantas de piña: se estimó el área de las plantas de piña desecadas, según la escala propuesta en el Cuadro 2. En cada tratamiento, se ubicaron ocho puntos de muestreo de 1 m² escogidos al azar, para estimar el área foliar afectada por los tratamientos desecantes. Los muestreos se hicieron cada quince días a partir de la aplicación de los tratamientos (DDA) y hasta los 90 DDA. Se tomó como criterio de aceptación del tratamiento desecante, aquel que obtuvo más de un 80 % en la escala y en el menor tiempo posible.

Cuadro 2. Escala de evaluación del porcentaje de desecación en el rastrojo de piña. Veracruz, Alajuela, 2020.

Valor %	Efecto en las plantas de piña	Descripción del porcentaje de desecación a las plantas de piña
0	Sin efecto	No hay control
10		Muy pobre
20	Efectos ligeros	Pobre
30		Pobre a deficiente
40		Deficiente
50	Efectos moderados	Deficiente a moderado
60		Moderado
70		Por debajo de satisfactorio
80	Efectos severos	Satisfactorio a bueno
90		Muy bueno a excelente
100	Efecto completo	Control total

Fuente: Frans y colaboradores. (1986).

- b) Número de plantas de piña con presencia de rebrote: se contabilizó el número de plantas de piña que tenían al menos un rebrote; se hizo en los mismos ocho puntos de muestreo de 1 m² escogidos al azar, para determinar el grado de desecación.

c) Incidencia de larvas (L2, L3 y L4) y pupas de *S. calcitrans*: se evaluó en los mismos ocho puntos de muestreo de 1 m² escogidos al azar, se revisó el cogollo de cada una de las plantas, para medir la incidencia de *S. calcitrans*. El procedimiento inició a los ocho DDA y se realizó cada 8 días hasta los 90 DDA (última evaluación). En el campo se utilizó una lupa 30x para identificar los estadios de *S. calcitrans*, por la forma y la separación de los espiráculos (Solórzano *et al.* 2013).

d) Costos de los tratamientos: se contabilizó el costo de las aplicaciones de cada tratamiento que incluyó el costo de mano de obra del peón agrícola que realizó la chapia y el costo del producto con base en la dosis por hectárea y su precio.

4.8.1. Análisis de datos

Para evaluar el efecto de los factores sobre las variables evaluadas se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con medidas repetidas en el tiempo bajo la teoría de los modelos lineales mixtos con un nivel de significación (α) igual a 0,05. El modelo lineal que se ajustó se presenta en la Ecuación 1.

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha\beta_i + \alpha\gamma_j + \beta\gamma_k + \alpha\beta\gamma_{ijk} + b_l + p_{i(k)} + sp_{j(l)} + \varepsilon_{ijkl} \quad Ec.1$$

Donde:

y_{ijkl} : es la respuesta observada en el i-ésimo nivel del factor chapia, j-ésimo nivel de factor herbicida, l k-ésimo nivel del factor tiempo y l-ésimo bloque.

μ : es la media general de la variable respuesta.

α_i : el efecto del i-ésimo nivel del factor asociado a las parcelas principales (chapia).

β_j : es el efecto del j-ésimo nivel del factor asociado a las parcelas pequeñas (herbicida).

γ_k : Es el efecto del l-ésimo nivel del factor tiempo.

- $\alpha\beta_{ij}$: es el efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel del factor chapia y el j-ésimo nivel del factor herbicida.
- $\alpha\gamma_{ik}$: es el efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel del factor chapia y el k-ésimo nivel del factor tiempo.
- $\beta\gamma_{jk}$: es el efecto de la interacción entre el j-ésimo nivel del factor herbicida y el k-ésimo nivel del factor tiempo.
- $\alpha\beta\gamma_{ijk}$: es el efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel del factor chapia, j-ésimo nivel del factor herbicida y el k-ésimo nivel del factor tiempo.
- b_l : es el efecto aleatorio del l-ésimo bloque.
- $p_{i(l)}$: es el efecto aleatorio de la parcela grande dentro de bloque.
- $sp_{j(i,l)}$: es el efecto aleatorio de la parcela pequeña dentro de parcela grande y bloque.
- ε_{ijkl} : es el término de error aleatorio.

Además, se comprobaron los supuestos de los modelos respectivos mediante gráficos diagnósticos (cuantiles de términos del error, gráfico de residuos y gráfico de residuos vs predichos) y se seleccionó el mejor modelo en función de los criterios de Akaike (AIC) y de información Bayesiano (BIC). En los términos de los modelos donde existieron diferencias significativas se realizó una prueba de separación de medias con el procedimiento de la diferencia mínima significativa (DMS) de Fisher con un nivel de significación (α) igual a 0,05. Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2020), con un nivel de significancia del 5 % ($\alpha = 0,05$).

5. Resultados y discusión

5.1. Peso de las plantas de piña previo a la aplicación de los herbicidas

Se realizó aproximadamente un mes después de realizada la chapia (6/10/2020), con el objetivo de considerar el peso fresco de la biomasa que se aplicó con herbicidas. En la Figura 2 se describe el peso promedio de las plantas según la práctica cultural.

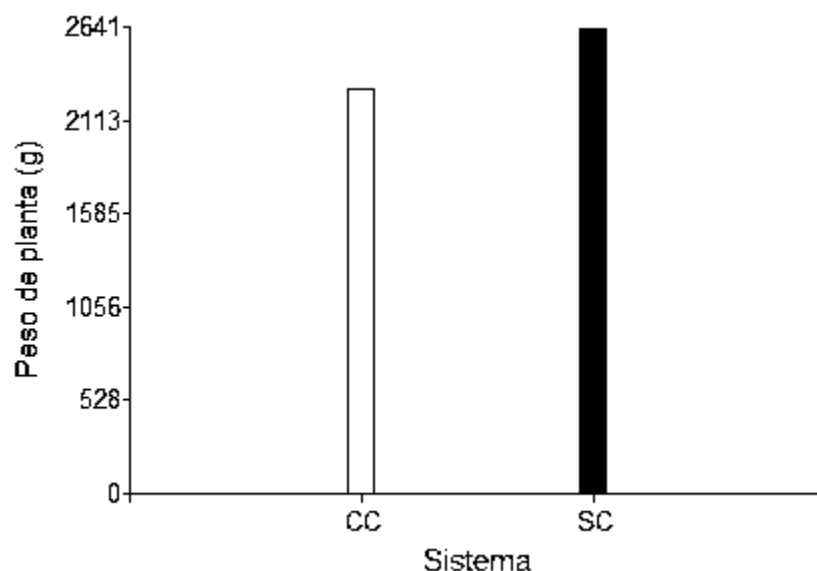


Figura 2. Peso promedio por planta de piña en la plantación (con o sin chapia, CC y SC, respectivamente) previo a la aplicación de los tratamientos desecantes en el manejo del rastrojo de piña para renovación. Veracruz, Alajuela, 2020.

En las parcelas con chapia el peso promedio de las plantas fue de 2,29 kg (174 t ha^{-1}), realizando la sumatoria del peso fresco de las plantas madre más los rebrotes (axilares y basales) que se desarrollaron a los 30 días (Figura 3). Mientras que sin chapia las plantas pesaron 2,63 kg, es decir, un volumen de biomasa fresca de 200 t ha^{-1} . El peso promedio por planta de piña en la plantación seleccionada en este ensayo para la aplicación de los herbicidas desecantes fue inferior a la cuantificada por Vázquez (2016) en la Zona Atlántica (peso promedio de planta: 3,5 kg) y superior a la indicada por este mismo autor en Zona Norte (peso promedio de planta: 1,5 kg). Las diferencias en la biomasa de los rastrojos posiblemente se

debieron a las condiciones de manejo de las plantaciones de piña evaluadas como la densidad de siembra utilizada, la nutrición suministrada al cultivo y las condiciones edafoclimáticas propias de cada localidad.

Cabe mencionar que es importante considerar el peso de las plantas seleccionadas como rastrojo, ya que los efectos causados por los herbicidas podrían variar si se utiliza una mayor o menor cantidad de biomasa.



Figura 3. Crecimiento de hijos axilares y basales, después de 30 días de realizada la chapia. Veracruz, Alajuela, 2020.

5.2. Efecto de los herbicidas en la desecación del rastrojo de piña

Se presentó una interacción significativa entre la chapia, los herbicidas y el tiempo ($F=3,16$, $p < 0,0004$), para la variable de desecación del rastrojo de piña. El grado de daño y la velocidad de aparición de síntomas variaron en el tiempo en cada tratamiento evaluado.

En general, la desecación que causaron los distintos herbicidas aumentó significativamente en el tiempo de evaluación, a excepción de los tratamientos con fluroxipir que no resultaron efectivos sobre las plantas madre.

De acuerdo con los datos presentados en la Figura 4, y considerado el porcentaje de desecación del rastrojo de piña, el bispiribac sodio, seguido del imazamox fueron los dos herbicidas que mostraron mayor potencial para sustituir al

paraquat; esto por cuanto ambos alcanzaron al final de los 90 días de evaluación un porcentaje de desecación del rastrojo igual al proporcionado por el paraquat con y sin chapia respectivamente. Sin embargo, se observó que el paraquat fue el que alcanzó el 80 % de desecación en el menor tiempo (45 DDA) y mantuvo ese porcentaje de desecación a través de las diferentes evaluaciones, con un aumento significativo a los 90 DDA, posiblemente debido a la descomposición de los tejidos afectados. El efecto de contacto que posee este herbicida se debe a la rapidez con que destruye el tejido foliar, lo que impide su translocación a través de la planta (Anzalone 2008). Según Vázquez (2016), el tiempo de desecación del rastrojo de piña con el uso de paraquat son 30 días, sin embargo, dicho período está sujeto a variación por las condiciones climáticas. Este efecto de desecación es fundamental en la renovación del cultivo de piña, ya que con ello se puede lograr una rápida incorporación del rastrojo al suelo, disminuir la incidencia y proliferación de la mosca del establo e iniciar las labores de preparación de terreno. Además, con ello se puede completar el ciclo productivo de las plantaciones de piña en el período predeterminado, situación que solo es posible con la labor de enterrado de rastrojos, principalmente cuando se dan altas precipitaciones. No obstante, a pesar de los beneficios del paraquat, este no se puede utilizar bajo la certificación *Rainforest Alliance*.

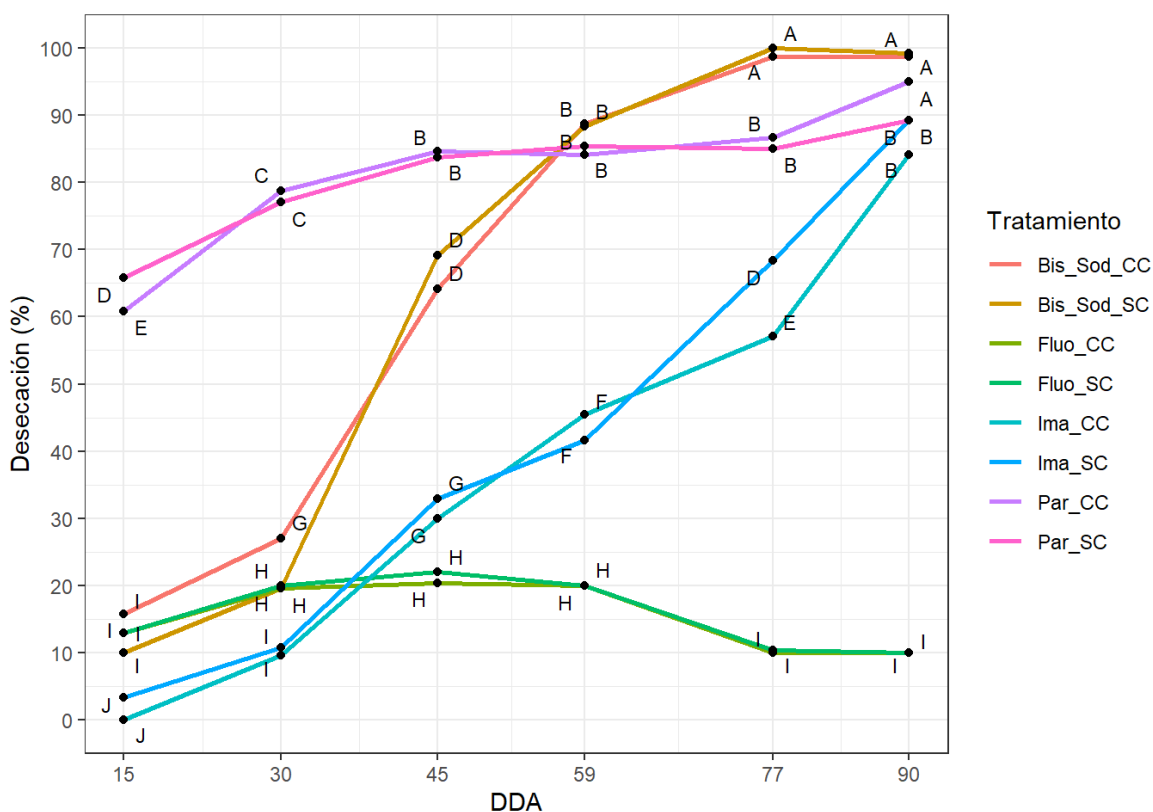


Figura 4. Porcentaje de desecación del rastrojo de piña en cada uno de los tratamientos evaluados. Veracruz, Alajuela, 2021. *Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba LSD de Fisher ($p > 0,05$)³.

Por su parte, el bispiribac sodio alcanzó ese 80 % de desecación aproximadamente a los 55 DDA, el cual siguió en incremento hasta llegar a sobrepasar al paraquat a partir de los 70 DDA, y alcanzar el 100 % de desecación a los 90 DDA (Figuras 5 y 6). Cabe mencionar que este herbicida fue entre las alternativas al paraquat, el que logró el porcentaje de desecación deseado en el menor tiempo, y se podrían obtener ventajas como las mencionadas en el paraquat.

³ Bis_Sod_CC: bispiribac sodio con chapia, Bis_Sod_SC: bispiribac sodio sin chapia, Fluo_CC: fluroxipir con chapia, Fluis: fluroxipir sin chapia, Ima_CC: imazamox con chapia, Ima_SC: imazamox sin chapia, Par_CC: paraquat con chapia, Par_SC: paraquat sin chapia.

El bispiribac sodio tiene entre otras ventajas el registro para su uso en barbecho de piña y está permitido por la norma *Rainforest Alliance*.

En el caso del imazamox su efecto fue más lento que los dos herbicidas anteriores, ya que alcanzó el 80 % de desecación del rastrojo de la piña hacia el final de los 90 días de evaluación, y fue ese porcentaje de desecación estadísticamente igual al alcanzado con la aplicación de paraquat (Figura 6). Estos resultados difieren a los reportados por Vázquez (2016), quien cuantificó una desecación del rastrojo de piña de 80 % entre 45 - 60 días con el uso de imazamox.

En el caso de estos dos últimos herbicidas, es importante notar que aun cuando síntomas como clorosis y necrosis tardaron en manifestarse, mostraron un control muy efectivo del rastrojo de piña en el tiempo de evaluación. Según Anzalone (2008) y Vázquez (2016), los herbicidas inhibidores de ALS se absorben rápidamente y el efecto biocida es casi inmediato; deja la planta de crecer. Sin embargo, la muerte del tejido se observa en un tiempo más prolongado.



Figura 5. Deseccación del rastrojo de piña causado por el herbicida bispiribac sodio a los 59 DDA (A) y 77 DDA (B). Veracruz, Alajuela, 2021.



Figura 6. Deseccación alcanzada en el rastrojo de piña por los tratamientos bispiribac sodio (A), paraquat (B) e imazamox (C) a los 90 DDA. Veracruz, Alajuela, 2021.

El herbicida menos efectivo fue el fluroxipir, pues el porcentaje de desecación causado en el rastrojo de piña no superó el 20 % durante el periodo de evaluación, y más bien las plantas de piña se recuperaron de los daños leves que les había causado este herbicida. La sintomatología ocasionada por el fluroxipir se observó principalmente en los rebrotes, a los cuales causó clorosis y necrosis de tejidos, y

en algunos casos abscisión. En las plantas madre ocasionó una clorosis leve y la quema de la punta de las hojas (Figura 7). Según Anzalone (2008), los herbicidas tipo auxinas provocan una serie de procesos metabólicos que inducen la biosíntesis de etileno, la acumulación de ácido abscísico (ABA), la inhibición de la elongación y división celular, la inhibición de la transpiración y asimilación de CO₂; que provocan en la planta los efectos mencionados.



Figura 7. Daño causado en los rebrotes y clorosis leve más quema de las puntas de las hojas de las plantas madre por el herbicida fluroxipir. Veracruz, Alajuela, 2021.

De la Figura 4 y Anexo 4, también se desprende, que, si bien en algunas evaluaciones el efecto de la chapia fue significativo para algunos herbicidas, pudiendo esto influir en la significancia de la interacción, en términos generales su aporte positivo fue bajo.

En el caso del paraquat, a los 15 DDA fue mejor su efecto sin chapea, y sin diferencias para el resto de las evaluaciones, a excepción de los 90 DDA donde hubo un efecto positivo significativo de un 6 % más de desecación cuando este se aplicó sobre plantas con chapia (Anexo 4). La diferencia en la evaluación inicial posiblemente se debió a que el paraquat produce un efecto tóxico rápido cuando es aplicado sobre el follaje (Anzalone 2008).

Para el bispiribac sodio el porcentaje de desecación fue similar en ambos sistemas a través del tiempo, salvo en la evaluación de los 30 DDA que hubo un mayor porcentaje de desecación con chapia. En un estudio realizado por Brenes y colaboradores (2008), obtuvieron un mejor control de *Dieffenbachia oerstedii*, con

el uso del herbicida metsulfuron (inhibidor ALS) en los tallos de las plantas, al comparar el efecto de su aplicación sobre las hojas.

El efecto del imazamox fue también igual con chapia o sin chapia, a excepción de la evaluación a los 77 DDA que fue un 10 % mayor sin chapia (Anexo 4).

El mal efecto del fluroxipir fue igual cuando se aplicó sobre rastrojo con chapia previa, o sin chapia. Estos efectos han sido reportados por Gómez y colaboradores (2008), con el herbicida triclopir (de la misma familia: ácidos piridincarboxílicos) en el control de navajuela en fase de rebrote. Esto evidencia que, en el caso de algunas especies de plantas como la piña, resulta muy difícil controlarlas en estados avanzados y la eficacia de algunos herbicidas como los de tipo auxinas (al cual pertenece el fluroxipir) se reduce y posiblemente requieran de mezclas con herbicidas de diferente modo de acción.

5.3. Número de plantas con rebrote

Para esta variable, únicamente el término de la interacción entre herbicida y tiempo fue significativo ($F= 13,36$, $p < 0,0001$).

De acuerdo con los datos presentados en la Figura 8, y considerado el número de plantas con rebrotes, el bispiribac sodio, seguido del imazamox fueron los dos herbicidas más promisorios como alternativa al paraquat; esto por cuanto ambos alcanzaron al final de los 90 DDA un promedio de plantas con rebrote sin diferencia estadística al obtenido por el paraquat. Según Vázquez (2016), una característica indispensable de un herbicida sustituto de paraquat, es que ocasione la muerte del follaje y los tallos de la planta madre, ya que los rebrotes que crecen en el tallo de las plantas de piña resultarán en retoños voluntarios que son indeseables en la nueva plantación.

La cantidad de plantas con rebrote fue más alta en la primera evaluación realizada 15 DDA, posiblemente debido a que había transcurrido poco tiempo para ver efectos en los rebrotes, pero posteriormente todos los herbicidas causaron reducción en el número de rebrotes, variando este efecto entre los herbicidas (Figura 8).

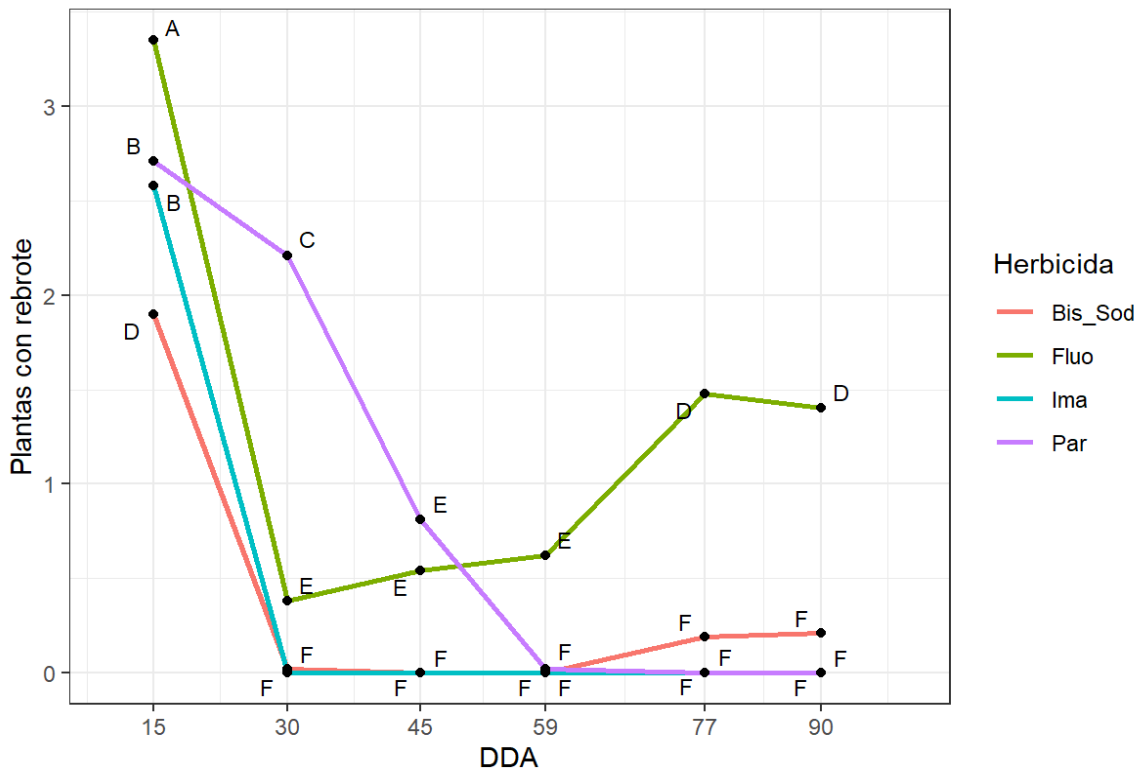


Figura 8. Efecto de los tratamientos desecantes sobre el número de plantas con rebrote. Veracruz, Alajuela, 2021. *Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba LSD de Fisher ($p > 0,05$)⁴.

En el caso del bispiribac sodio su efecto fue rápido en la disminución de plantas con rebrote a los 15 DDA, incrementó significativamente esa reducción a los 30 DDA, y sin diferencias estadísticas para el resto de las evaluaciones. En el estudio realizado por Brenes y colaboradores (2008), obtuvieron un control efectivo y prolongado del rebrote de *Dieffenbachia oerstedii*, con la aplicación del herbicida metsulfuron (inhibidor ALS).

Por su parte, el imazamox alcanzó una disminución significativa del número de plantas con rebotes a los 30 DDA; condición que mantuvo hasta los 90 DDA. Estos resultados concuerdan con los reportados por Vázquez (2016), quien obtuvo

⁴ Bis_Sod: bispiribac sodio, Fluo: fluroxipir Ima: imazamox, Par: paraquat.

un control eficaz del rebrote de piña a los 90 días de evaluación, con el uso de imazamox a razón de 1400 g en un volumen de 4000 L.ha⁻¹.

Por su parte, las plantas tratadas con el herbicida paraquat presentaron una disminución más lenta en el número de rebrotes, pero a partir de los 45 DDA la incidencia disminuyó significativamente, debido al daño ocasionado por este herbicida en las plantas madre.

El mal efecto del fluroxipir también se reflejó en la incidencia de rebrotes del rastrojo de piña. Este herbicida presentó una disminución significativa de las plantas con rebrote a los 30, 45 y 59 DDA, pero a partir de los 59 días comenzó a mostrarse un proceso activo de recuperación de las plantas madre que causó un valor más pronunciado de rebrotes a los 77 y 90 DDA. Estos efectos coinciden con los reportados por Brenes y colaboradores (2008), en rebrotes de *Dieffenbachia oerstedii*, aplicados con el herbicida triclopir.

5.4. Incidencia de mosca del establo

La incidencia de moscas *S.calcitrans* presentó una interacción significativa para la interacción entre herbicida y tiempo ($F= 18,81$, $p < 0,0001$). La aparición de moscas coincidió con el inicio de la descomposición del rastrojo de piña aplicado con los diferentes herbicidas evaluados.

De acuerdo con la Figura 9, y considerado el porcentaje de incidencia de moscas del establo en el rastrojo de piña, el imazamox, seguido del bispiribac sodio, fueron los dos herbicidas que mostraron mayor relevancia para sustituir al paraquat; esto por cuanto ambos alcanzaron al final de los 90 días de evaluación un promedio de moscas estadísticamente igual a las cuantificadas con el uso de paraquat.

En el caso del imazamox presentó un incremento significativo del número de moscas del establo a los 72 DDA, y sin diferencias estadísticas para el resto de las evaluaciones. En un estudio de herbicidas desecantes en piña, Vázquez (2016) indicó que, con el uso del herbicida imazamox no se reportó presencia de moscas del establo en el rastrojo de piña, aun cuando las plantas mostraron cierta descomposición.

Por su parte, el bispiribac sodio mostró un aumento significativo de moscas del establo a los 55 y 72 DDA, pero a partir de los 72 días, la incidencia disminuyó hasta alcanzar un promedio estadísticamente igual al proporcionado por el paraquat a los 90 DDA. Cabe mencionar que, la rápida desecación que presentó este herbicida (55 DDA aproximadamente) permitiría incorporar el rastrojo al suelo y disminuir la incidencia de la mosca del establo (González 2012).

El fluroxipir fue el herbicida que causó la mayor incidencia de moscas del establo. A partir 48 días el número de moscas se incrementó hasta sobrepasar el paraquat a los 57 DDA, y alcanzó el pico máximo de moscas entre 64 - 72 DDA. Aún al final del ensayo fluroxipir continuó mostrando un número de moscas significativamente superior que el reportado por los demás herbicidas evaluados.

Las diferencias en la incidencia de mosca del establo, posiblemente se debieron al comportamiento de desecación del rastrojo de piña proporcionado por los herbicidas evaluados. Según González (2012), conforme el proceso de degradación avanza, el rastrojo se vuelve menos atractivo para que la mosca lo utilice como sustrato para el desarrollo de su ciclo de vida.

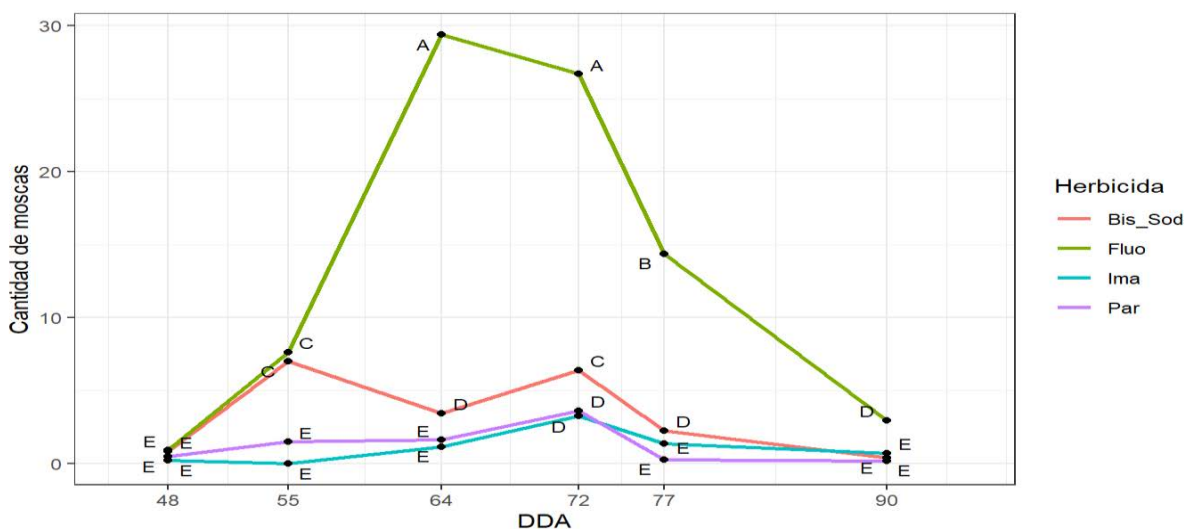


Figura 9. Efecto de los tratamientos desecantes sobre el número de moscas (*S.calcitans*). Veracruz, Alajuela, Costa Rica. 2021. *Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba LSD de Fisher ($p > 0,05$)⁵.

⁵ Bis_Sod: bispiribac sodio, Fluo: fluroxipir Ima: imazamox, Par: paraquat.

5.5. Costos

Los costos por hectárea de los tratamientos se presentan en la Figura 10. Los costos más elevados se presentaron en bispiribac sodio con chapia (\$ 756,3) y sin chapia (\$ 672,7), debido a su valor comercial. El tratamiento más económico fue paraquat sin chapia (\$ 40,9), seguido por los tratamientos paraquat con chapia (\$ 124,4), fluroxipir sin chapia (\$ 175) y con chapia (\$ 258,6) e imazamox sin chapia (\$ 400) y con chapia (\$ 483,6). El costo de la chapia fue por la modalidad de contrato y representó un monto de \$ 83,6 por hectárea.

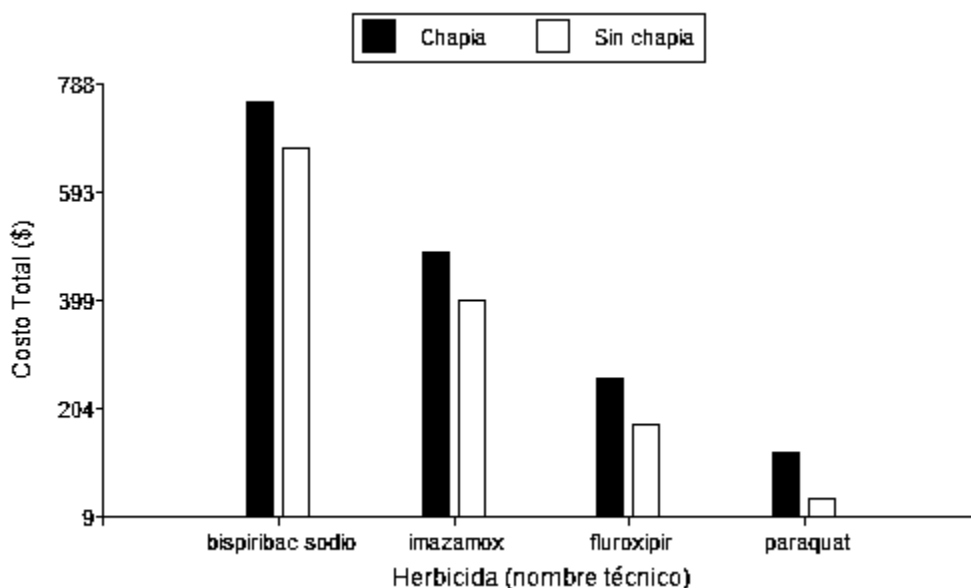


Figura 10. Costo de aplicación por hectárea de cada uno de los herbicidas evaluados. Tipo de cambio US\$-1=611 colones. Veracruz, Alajuela, Costa Rica. 2021.

Al relacionar los costos con la eficiencia de los herbicidas alternativos al paraquat en el control del rastrojo de piña, se aprecia que los tratamientos con base en bispiribac sodio e imazamox sin chapia, a pesar de ser de los más costosos obtuvieron resultados estadísticamente superiores o iguales al paraquat, respectivamente, por lo que ambos herbicidas tienen un alto potencial para su uso como desecantes en el rastrojo de piña.

6. Conclusiones:

- El comportamiento de los herbicidas en cuanto a porcentaje de desecación, número de plantas con rebrote e incidencia de la mosca del establo fue similar cuando estos se aplicaron en rastrojo con chapia previa, o sin chapia, en tanto que esta labor incrementó los costos, por lo tanto, podría prescindirse de ella al utilizar estos herbicidas para desecar el rastrojo de la piña.
- El costo de los tratamientos alternativos al paraquat con los herbicidas imazamox o bispiribac sodio resultaron más elevados al paraquat, por lo que debe considerarse este aspecto al sustituir al paraquat.
- El mejor tratamiento como alternativa al uso del paraquat en sistemas de renovación de plantaciones de piña, es el herbicida bispiribac sodio, por presentar mayor eficacia en la desecación en el menor tiempo, baja incidencia de rebrotes y de mosca del establo, pero con el inconveniente de ser la alternativa más costosa. La segunda opción es el imazamox, con alta eficacia en la desecación, pero requiere de mayor tiempo y los costos son intermedios entre bispiribac y paraquat.

7. Literatura citada

- Acosta, L.; Agüero, R. 2002. Combate de *Panicum zizanoides* H.B.K. y *Paspalum conjugatum* Beg, en banano (*Musa AAA*) en el trópico húmedo de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 13(2): 117-121.
- Aguirre, C.; Venegas, A.; Carrasco, J. 2018. Manejo de rastrojos del cultivo de maíz. INIA. 27 p.
- Alpízar, J. 2007. Utilización de la biomasa residual del cultivo de piña (*Ananas comosus*) para la desproteinización enzimática de los desechos de la actividad camaronera. Tesis Lic. Heredia, Costa Rica, UNA. P. 15-20.
- Alpízar, M.; Arguedas, C. 1990. La exportación costarricense de piña fresca al mercado de los Estados Unidos: un análisis de competitividad. Universidad Nacional. Costa Rica. P. 48-72.
- Anzalone, A. 2008. Herbicidas: modos y mecanismo de acción en plantas. Fondo Editorial de la Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Barquisimeto, Venezuela. 144 p.
- Bartholomew, D.; Malézieux, E.; Sanewski, G.; Sinclair, E. 2003. Inflorescence and fruit development and yield." In: The pineapple: botany, production and uses. Eds. Bartholomew, D.P.; Paull, R.E.; Rohrbach, R.G. CABI Publishing. New York. USA. P. 178-203.
- Bermejo, R. 2015. Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis. UPV/EHU. Biblioteca del Campus de Álava. 60 p.
- Brenes, S.; Agüero, R. 2007. Reconocimiento taxonómico de arvenses y descripción de su manejo en cuatro fincas productoras de piña (*Ananas comosus* L.) en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 18(2): 239-246.
- Brenes, S.; Agüero, R.; Hoffman, L. 2008. Control de sainillo (*Dieffenbachia oestедii* Schott) en banano. *Rev. Agronomía Mesoamericana*, 19(2):195-208.
- Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña (CANAPEP). 2019. Estadísticas. En línea. Consultado 01/10/2019. Disponible en: <http://canapep.com/estadisticas/>

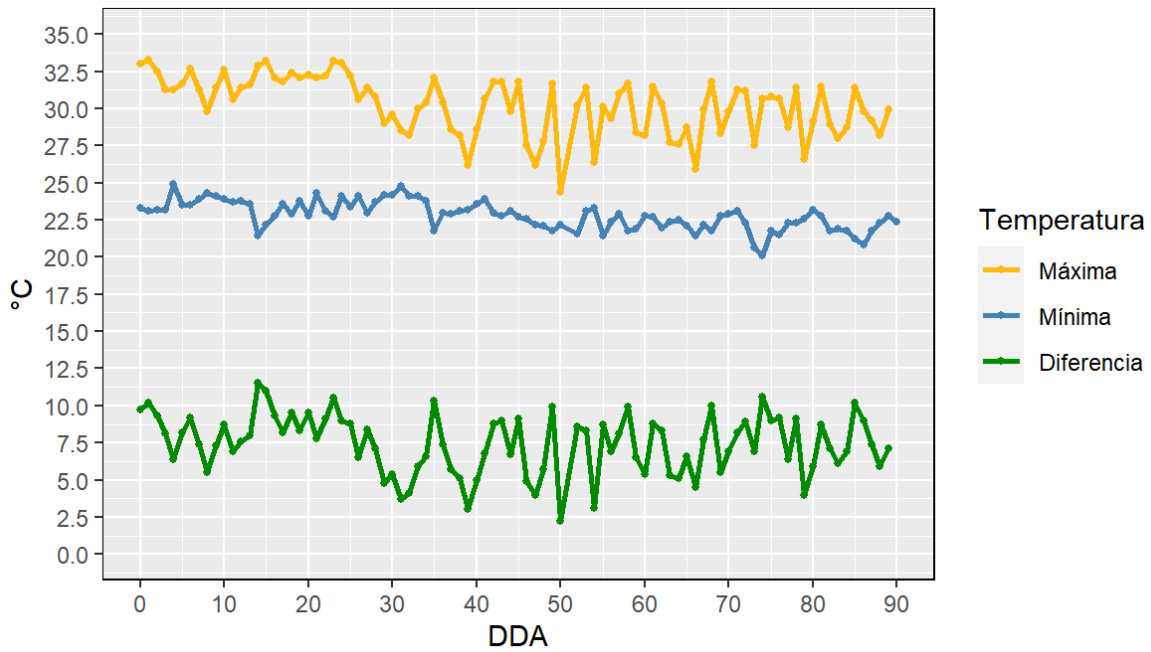
- Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña (CANAPEP). 2016. Impacto del sector piñero en Costa Rica. San José, Costa Rica. En línea. Consultado 25/09/2019. Disponible en: <http://canapep.com/produccion-pina-costa-rica-sector-economia>.
- Cambell, J.B.; Skoda, S.R.; Berkebile, D.R.; Boxler, D.J.; Thomas, G.D.; Adams, D.C. y Davis, R. 2001. Effects of stable flies (Diptera: Muscidae) on weight gains of grazing yearling cattle. *Journal of Economic Entomology*, 94: 780-783.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; González, L.; Tablada, M.; Robledo C.W. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 334 p.
- Esqueda, V.A.; Tosquy, O.H.; Rosales, R.E. 2005. Efectividad de la mezcla picloram y fluroxipir en el control de malezas perennes de pastizales tropicales. *Agronomía Mesoamericana*, 16: 187-192.
- Fallas, T.; Ramírez, C. 2019. Factores de emisión de CH₄ y CO₂ en rastrojo de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr. var. *comosus*), en San Carlos, Costa Rica. *Revista Agro Innovación en el Trópico Húmedo*, 2(1): 2-11.
- Frans, R.; Talbert, R.; Marx, D.; Crowley, H. 1986. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. In: *Research methods in weed science*. (ed. ND Camper). 3 ed edition. Champaign, IL: Southern Weed Science Society. P. 29-46.
- Garbanzo, G. 2016. Inducción de senescencia en palma aceitera *Elaeis guineensis* para renovación (Arecaceae) mediante mezclas de herbicidas. *Cuadernos de Investigación UNED*, 8(1): 49-54.
- Gómez, R.; Herrera, F.; Hernández, M. 2008. Control químico de la navajuela (*Scleria melaleuca* Rchb.f.ex. Schlttdl.Cham.) en diferentes estados de desarrollo. *Agronomía Mesoamericana*, 19(1): 69-79.
- González, L.A. 2012. Manual técnico para el manejo de rastrojos en el cultivo de piña. San José, Costa Rica: MAG/SFE. 14 p.

- Hernández, M.; Herrera, F. 2002. Combate químico de navajuela (*Scleria melaleuca* Rchb.f.ex.Schltl.Cham.) en una pastura de zacate natural (*Paspalum conjugatum*) en Guápiles, Pococí. Rev. Agronomía Tropical, 32: 01-06.
- Hernández, R.; Prado, L. 2018. Impacto y oportunidades de biorrefinería de los desechos agrícolas del cultivo de piña (*Ananas comosus*) en Costa Rica. Cuadernos de Investigación UNED, 10(2): 455-468.
- Herrera, F. 1997. Eficacia de herbicidas en la eliminación del rastrojo del arroz (*Oryza sativa* L.) para la siembra posterior de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en labranza de conservación. Boletín Técnico Estación Experimental Fabio Baudrit. Universidad de Costa Rica, 30(2): 31-36.
- Jiménez, J. 1999. Cultivo de la piña: Manual práctico para el cultivo de la piña de exportación. Editorial Tecnológica. Cartago. Costa Rica. 220 p.
- López, M.; WingChing, R.; Rojas, A. 2009. Características fermentativas y nutricionales del ensilaje de rastrojo de piña (*Ananas comosus*). Agronomía Costarricense, 33(1): 1-15.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). s.f. Mecanismo de acción de las familias químicas a las que pertenecen los herbicidas. En línea. Consultado 01/10/2019. Disponible en: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/h60-7190_anexo1.pdf
- Morera, F. 2017. Alternativas en el combate químico de *Ischaemum rugosum* Salib (Zacate manchado) resistente a bispiribac sodio. Tesis Lic. San José, Costa Rica, UCR. P. 5-11.
- Pérez, J.; Garbati, F. 2004. Preparación de suelos para la producción de piña (*Ananas comosus* L. Merr). Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). República de Cuba. En línea. Consultado 02/10/2019. Disponible en: <http://www.gerona.inf.cu/modules.php?name=Sections&op=viewarticle&artid=13>
- PREPMC (Proyecto Reduciendo el Escurrimiento de Plaguicidas al mar Caribe, Costa Rica). 2009. Evaluación del impacto ambiental generado por la

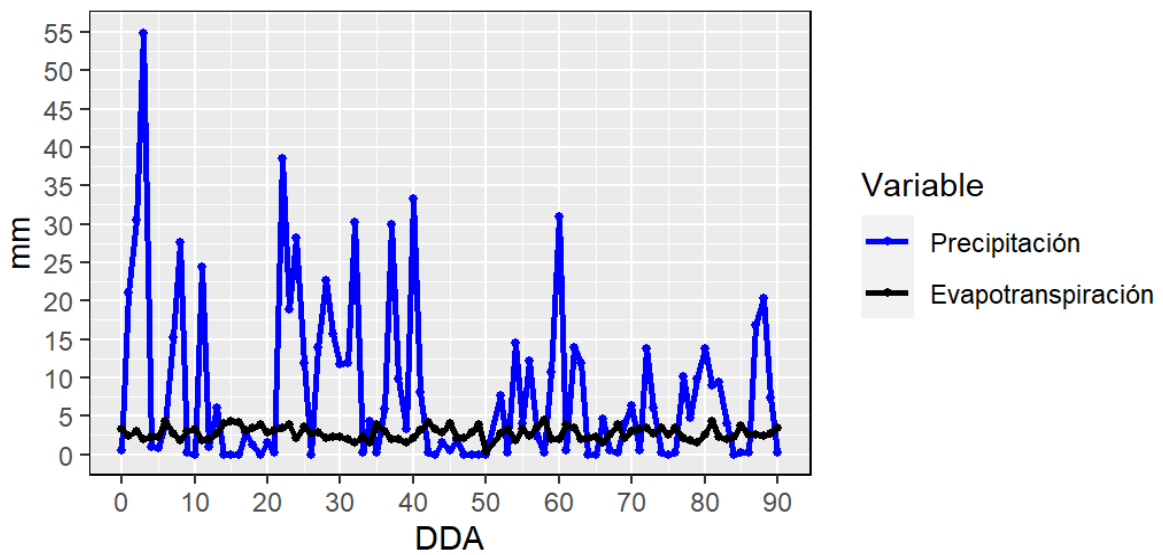
- eliminación del rastrojo de piña a través de su incorporación al suelo. MINAET, MAG y PROAGROIN. San José, Costa Rica. 16 p.
- Quesada, K. 2003. Utilización del rastrojo de piña (*Ananas comosus*) como refuerzo de una resina poliéster comercial. Tesis, Universidad Nacional. Costa Rica. p. 1-4.
- Rainforest Alliance. 2017. Lista de plaguicidas prohibidos y de uso con mitigación de riesgo. En línea. Consultado el 04/10/2019. Disponible en: https://www.rainforest-alliance.org/business/zwp-content/uploads/2017/11/02_lists-pesticides-management_sp.pdf
- Ruiz, C.; Wolf, M.; Claret, M. 2015. Rastrojos de cultivos anuales y residuos forestales. En: Ruiz, C. (eds.). Rastrojos de cultivos y residuos forestales. Programa de transferencia de prácticas alternativas al uso del fuego en la región del Biobío. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile. Boletín INIA N° 308. 196 p.
- Salas, O. 2018. El cultivo de la piña genera retos para este sector, dentro de los que destacan evitar la contaminación ambiental y procurar un manejo sostenible del terreno. CIA, UCR. San José, Costa Rica. 6 p.
- Solórzano, J.A.; Treviño, J.; Hidalgo, H.; Gómez, Y.; Blanco, H.; Apuy, M.; González, L.; Meneses, D. 2013. Recomendaciones para el manejo de la mosca del establo *Stomoxys calcitrans* en el cultivo de la piña. PITTA PIÑA. San José, Costa Rica. 27 p.
- Taladriz, A.; Schwember, A. 2012. ¿Qué hacer con los rastrojos? *Agronomía y Forestal*, (46): 25-29.
- Torres, R. 2019. Herbicida Tomahawk 20 EC para el control del rastrojo de piña. (Comunicación personal). Upala Agrícola, Alajuela, Costa Rica.
- Treviño, J. 2018. Control biológico de *Stomoxys calcitrans* (Linnaeus) (Diptera: Muscidae) en rastrojos de piña, con el parasitoide *Spalangia endius* (Walker) (Hymenoptera: Pteromalidae) como parte del manejo agroecológico de plagas, en Pital de San Carlos, Costa Rica. Tesis Lic. Heredia, Costa Rica, UNA. 72 p.

- Vargas, Á. 2019. Optimización de la descomposición anaeróbica del rastrojo del cultivo de piña (*Ananas comusus var. comusus* cv. MD2) para el manejo de la mosca del establo (*Stomoxys calcitrans* L.) (Diptera: Muscidae) en Río Cuarto, Costa Rica. Tesis Lic. San Carlos, Costa Rica, TEC. 78 p.
- Vázquez, J. 2016. Burndown of pineapple plants in Costa Rica. In: Newsletter of the Workgroup Pineapple, International Society for Horticultural Science. En línea. Consultado 25/09/2019. Disponible en: <http://www.ishs-horticulture.org/workinggroups/pineapple/PineNews23.pdf>
- Viquez, M. 2008. Obtención de madera plástica reforzada con rastrojo de piña (*Ananas comosus*) del desecho agroindustrial y poliolefinas postconsumo. Tesis Lic. Heredia, Costa Rica, UNA. P. 6-15.
- Zell Chemie. 2014. Herbicida Bispinee 40 WP para el control de los residuos de la cosecha del cultivo de la piña. Consultado 25/01/2020 Disponible en: <https://www.zellchemie.com/>

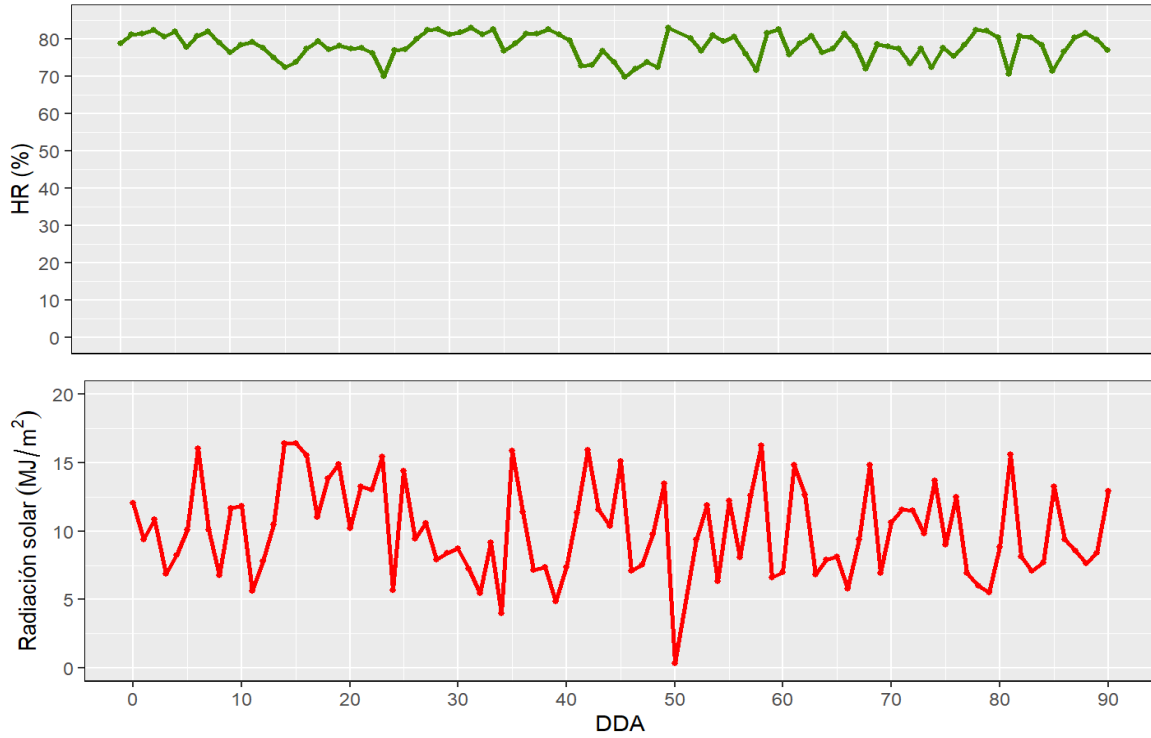
8. Anexos



Anexo 1. Temperatura durante el período de evaluación de los herbicidas desecantes en el rastrojo de piña. Veracruz, Alajuela. 2020-2021.



Anexo 2. Condiciones de precipitación y evapotranspiración durante el período de evaluación de los herbicidas desecantes en el rastrojo de piña. Veracruz, Alajuela. 2020-2021.



Anexo 3. Condiciones de humedad relativa y radiación solar durante el período de evaluación de los herbicidas desecantes en el rastrojo de piña. Veracruz, Alajuela. 2020-2021.

Anexo 4. Porcentaje de desecación a los 15, 30, 45, 59, 77 y 90 días después de aplicar los diferentes herbicidas en el rastrojo de piña. Upala, Alajuela. 2021.

Tratamiento	15 DDA	30 DDA	45 DDA	59 DDA	77 DDA	90 DDA
fluroxipir	12,9 i	20,0 h	22,1 h	20,0 h	10,4 i	10,0 i
chapia + fluroxipir	12,9 i	19,6 h	20,4 h	20,0 h	10,0 i	10,0 i
bispiribac	10,0 i	19,6 h	69,2 d	88,3 b	100 a	100 a
chapia + bispiribac	15,8 i	27,1 g	64,2 d	88,8 b	98,8 a	98,8 a
paraquat	65,8 d	77,1 c	83,8 b	85,4 b	85,0 b	89,2 b
chapia + paraquat	60,8 e	78,8 c	84,6 b	84,2 b	86,7 b	95,0 a
imazamox	3,3 j	10,8 i	32,9 g	41,7 f	68,3 d	89,2 b
chapia + imazamox	0,0 j	9,6 i	30,0 g	45,4 f	57,1 e	84,2 b

* Promedios con igual letra en una misma columna presentan diferencias no significativas entre sí, según la prueba (DMS) de Fisher al 5 %.

Anexo 5. Plantas con rebrote a los 15, 30, 45, 59, 77 y 90 días después de aplicar los diferentes herbicidas en el rastrojo de piña. Upala, Alajuela. 2021.

Tratamiento	15 DDA	30 DDA	45 DDA	59 DDA	77 DDA	90 DDA
fluroxipir	3,35 a	0,38 e	0,54 e	0,62 e	1,48 d	1,40 d
bispiribac	1,90 d	0,02 f	0,00 f	0,00 f	0,19 f	0,21 f
paraquat	2,71 b	2,21 c	0,81 c	0,02 f	0,00 f	0,00 f
imazamox	2,58 b	0,00 f	0,00 f	0,00 f	0,00 f	0,00 f

* Promedios con igual letra en una misma columna presentan diferencias no significativas entre sí, según la prueba (DMS) de Fisher al 5 %.