



CIENCIAS BÁSICAS, INGENIERÍA Y TERRITORIALIDAD



BIOCONTROL ALELOPÁTICO DE ARVENSES EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

Humberto Ramón Pérez-Figueroa

<http://orcid.org/0000-0002-5788-2003>

humbertoperezf@gmail.com

Academia de Ciencias Agrícolas de
Venezuela (ACAV);

Complejo Agroindustrial Azucarero “Ezequiel
Zamora” S. A. (CAAEZ, SA)

Universidad Nacional Experimental de los
Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora”
(UNELLEZ).

Fecha de recepción: 06 /01/2023

Fecha de aprobación: 21/01/2023

RESUMEN

En un biosistema agrícola interactúan diversas especies arvenses, alelopáticas y cultivadas, producto de la acción antrópica; donde el biocontrol reduce los daños que se producen en esta triangulación ecológica. En este contexto la Academia de Ciencias Agrícolas de Venezuela (ACAV), se ha abocado en la búsqueda de métodos endogenológicos de biocontroladores alelopáticos que hacen referencia al impacto de especies vegetales alelopáticas sobre las arvenses en el cultivo caña de azúcar. Entre estos, se encuentra el fenómeno botánico alelopático que inhibe la germinación y el crecimiento de arvenses. Se realizó esta

investigación con el objetivo de evaluar coberturas vegetales alelopáticas como biocontrol de arvenses en caña de azúcar en relación al uso de herbicidas. Se utilizó un diseño en franja en cultivos establecidos con muestreos aleatorios en las unidades experimentales con tratamientos distribuidos aleatoriamente en repeticiones contiguas para un análisis de varianza completamente aleatorizado unifactorial con 3 tratamientos y 5 réplicas. (T1): Sin control (T2): Biocontrol alelopático (T3): Control agroquímico. Los resultados sugieren que, bajo condiciones experimentales, existe un efecto inhibitorio significativo tratado con cobertura alelopática en caña de azúcar sobre el crecimiento y germinación de arvenses. Se concluye que la alelopatía es un fenómeno apropiado para utilizar en la agricultura sustentable como biocontrolador de arvenses en caña de azúcar.

Palabras clave: Biocontrol; alelopatía; agroquímicos; arvenses; caña de azúcar.

ALLELOPATHIC BIOCONTROL OF WEEDS IN SUGAR CANE CULTIVATION Bioinputs and Biocontrollers

ABSTRACT

In an agricultural bioecosystem, diverse weed, allelopathic and cultivated species interact, product of anthropic action; where biocontrol reduces the damage that occurs in this ecological triangulation. In this context, the Academy of Agricultural Sciences of Venezuela (ACAV), has focused on the search for endogenological methods of allelopathic biocontrollers that refer to the



impact of allelopathic plant species on weeds in sugarcane cultivation. Among these is the allelopathic botanical phenomenon that inhibits the germination and growth of weeds. This research was carried out with the objective of evaluating allelopathic plant covers as biocontrol of weeds in sugarcane in relation to the use of herbicides. A strip design was used in established crops with random sampling in the experimental units with treatments randomly distributed in contiguous repetitions for a univariate completely randomized analysis of variance with 3 treatments and 5 replicates. (T1): No control (T2): Allelopathic biocontrol (T3): Agrochemical control. The results suggest that, under experimental conditions, there is a significant inhibitory effect of allelopathic coverage in sugarcane on the growth and germination of weeds. It is concluded that allelopathy is an appropriate phenomenon to use in sustainable agriculture as a biocontroller of weeds in sugarcane.

Keywords: Biocontrol, allelopathy, agrochemicals, arvensis, sugarcane.

INTRODUCCIÓN

La industria azucarera venezolana es una de las actividades de mayor preeminencia en el impulso agroindustrial del país. La producción de caña de azúcar constituye el tercer rubro de producción agrícola, solo superado por el maíz y el café, ocupando 1.100.000 ha en el territorio nacional. Siendo la caña de azúcar un cultivo extensivo generador de empleo, cerca de 50.000 directos y más de 500.000 indirectos. Existen alrededor de 3.500 unidades de producción con más de 5.000 cañicultores que arriman

sus cosechas en 15 Centrales Azucareros con capacidad de molienda de 70.000 t de caña/día y producción de 5.700 t de azúcar/día.

De esta área, ocupada con caña de azúcar a nivel nacional, el Sistema de Riego Rio Boconó (SRRB), en Sabaneta estado Barinas, de 5.537,32 ha, se han sembrado 2.941,07 ha con caña de azúcar, 53,11% de su superficie, en el periodo 2005-2015, incorporando al sistema agroalimentario 279 productores; con rendimiento promedio 73,41 t de caña/ha y 7,53 t de azúcar/ha, arrimados al Complejo Agroindustrial Azucarero Ezequiel Zamora, S. A. (CAAEZ, SA), un promedio anual de 215.895,63 t de caña por zafra, contribuyendo de esta manera a la agroindependencia alimentaria.

No obstante, la producción es baja e insuficiente existiendo un déficit de azúcar para el consumo humano, aun cuando el rendimiento promedio de 10 años, encontrado por Pérez-Figueroa (2013), en 303 parcelas estudiadas, alcanzó valores de $69,93 \pm 17,31$ toneladas de caña por hectáreas (TCH), y $7,33 \pm 13,43$ toneladas de azúcar por hectáreas (TAH), no siendo suficiente para cubrir la demanda de azúcar exigida por los consumidores obligando al estado a importar el rubro para suplir estas



necesidades de energía a la población venezolana.

Sin embargo, entre los problemas de mayor importancia, con influencia directa en los rendimientos agrícolas e industriales, que reportan los productores y técnicos sobre esta disminución de la producción están el agua de riego, la fertilización, los insectos plagas y la invasión de las especies arvenses. En este sentido, el CAAEZ, SA, en cierta forma, resolvió el problema de agua, fertilizante y plaga en forma endogenológica, a través, de las investigaciones realizadas en la Coordinación de Investigación de la Caña de Azúcar (CICA), no así, el combate hacia las arvenses; dejando un espacio abierto en la búsqueda de soluciones a este problema ambiental en el cultivo de caña de azúcar, de aquí se genera la interrogante ¿El biocontrol alelopático de arvenses es efectivo en el cultivo de cañada azúcar?.

A partir de esta interrogante se deriva el alcance de esta investigación que está enmarcado dentro de un proyecto mayor de la Academia de Ciencias Agrícolas de Venezuela (ACAV), que procura evaluar el biocontrol de las arvenses con el uso de cobertura vegetal de especies alelopáticas en diferentes cultivos agrícolas, entre ellos caña de azúcar, bajo condiciones ambientales en un ecosistema natural, como

estrategia para ir reduciendo el uso de agroquímicos, sustituyéndolos por biotecnologías más adecuadas con el ambiente; dando respuesta, a las exigencias de los productores de caña de azúcar, de tal manera de resolver la escasez de los insumos agrícolas y el abuso por el excesivo uso de agroquímicos (herbicidas), que causan daños al ambiente y a los seres humanos, abriendo un espacio a nuevas investigaciones en referencia del uso de la alelopatía en el biocontrol de arvenses en los sistemas agrícolas para la producción de alimentos.

Fundamentación Teórica

Biocontrol alelopáticos en arvenses

La disputa de los seres humanos contra las especies vegetales que invaden sus cultivos mermando la productividad nace con la agricultura, y por eso desde su inicio se han utilizado técnicas agronómicas y cultivos capaces de controlar su propagación; no obstante, los métodos subyacentes a los efectos observados son totalmente desconocidos. En este sentido, Moreira (1977), citado en Arévalo *et al.*, (2011), observó que las implicaciones de la alelopatía en la agricultura se manifiestan en la sucesión de la vegetación en terrenos abandonados, donde las especies que infestan esas áreas



inhiben a otras especies de plantas, al ser cultivadas posteriormente en esos terrenos generando cierto biocontrol sobre las especies que invaden su espacio.

Esto se debe, según Tucut *et al.*, (2014), a que las plantas producen una serie de compuestos resultantes de su metabolismo, nombrados metabolitos secundarios, donde su principal función es la defensa, pudiendo generar efectos adversos como la alelopatía, sobre la germinación y el crecimiento de plantas vecinas que invaden su entorno de supervivencia; en respuesta a esto Pérez-Figueredo (2020a), considera que es múltiple el uso de la alelopatía en la agricultura, regida por la agronomía y la agroecología, por lo que estos metabolitos secundarios podrían ser aprovechado por la agroindustria para la elaboración de biocontroladores más amigables al ambiente.

Estudios realizados por Medina y Valenzuela (2003), señalan que la especie *Mucuna pruriens* (L.), Burck, inhibe la germinación de las arvenses por el fenómeno de la alelopatía. Gliessman (2002), afirman que el cultivo de *Secale cereale* L., tiene alto potencial para limpiar el terreno de arvenses, incorporando sus residuos al suelo; atribuyéndole su presencia al compuesto alelopático denominado benzoxalinonas, liberado al ambiente. Arévalo y Bertoncini

(2008), lo confirman al concluir que residuos de cosecha de *Saccharum officinarum* L., demostraron eficiente control de arvenses, atribuidos al fenómeno de alelopatía en interacción como factor físico que impide la entrada de luz a nivel del suelo y reduce la temperatura, impidiendo con ello la germinación de las arvenses.

Manechini *et al.*, (2005), comprobaron en caña de azúcar que, usando residuos de cosecha sin quemar, el control de arvenses se incrementa. No obstante, Almeida *et al.*, (2005), demostró que *Cyperus rotundus* L. y *Rottboellia exaltata* L., inhibe el crecimiento encaña de azúcar, revelando una reducción significativa en el crecimiento de las plantas de caña por estas especies arvenses. Según lo anterior, se considera al fenómeno alelopatía, como la inhibición de una especie sobre el desarrollo de otra, liberando metabolitos secundarios denominados aleloquímicos; por tanto, la profundización en su conocimiento ha sido posible gracias al adelanto de métodos transdisciplinario de Química, Fisiología Vegetal, Botánica y Ecología, permitiendo aislar e identificar los aleloquímicos y estudiar el efecto sobre un sistema biológico favorable a la producción agroalimentaria.

En Venezuela no se han reportado estudios concretos sobre este fenómeno,



sin embargo, en la Academia de Ciencias Agrícolas de Venezuela (ACAV), se están dando los primeros pasos en investigaciones de alelopatía; orientados a la aplicación específica de extractos y coberturas con residuos de cosecha de especies alelopáticas, para el control de arvenses en condiciones de campo. Sin perder de vista este enfoque, que ha venido cobrando importancia en la identificación de los metabolitos secundarios responsables de los efectos alelopáticos observados en campo desde el inicio de la agroindustria en la localidad de Sabaneta.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó durante el periodo 2015-2019 en el Sistema de Riego Rio Boconó (SRRB), parroquia Sabaneta, municipio Alberto Arvelo Torrealba, al norte del estado Barinas, en plantaciones establecidas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Las condiciones climáticas de la zona según, Pérez-Figueroa (2020b), precipitación anual 1.415,02 mm, evaporación anual 1.896,41mm, humedad relativa 76,39% y temperaturas media 23,10°C, con variación +1,14°C. El clima Bosque Seco Tropical según la nomenclatura de Holdridge y Subhúmedo Cálido según Thornthwaite, con dos periodos bien

definidos, húmedos y secos. Clima apto para la caña de azúcar.

Se estableció un diseño experimental en franja, en un cultivo establecido, con muestreos aleatorios en unidades experimentales para las variables en estudio. Se aplicó un modelo de clasificación simple, completamente aleatorizado unifactorial con 3 tratamientos y 5 repeticiones; T1: Sin control de arvenses, T2: Biocontrol alelopático y T3: Control agroquímico. En caso de significancia se aplicó el test de comparación múltiple de medias por Tukey ($p \leq 0,01$). Las variables evaluadas: Número de Arvenses/m², Porcentaje de Infestación de Arvenses, Número de Brotes de Arvenses por m² y Longitud del Brotes de Arvenses por m². Para evaluar los resultados, se utilizó el Software Estadístico InfoStat versión 2020.

En el biocontrol se utilizó cobertura vegetal con residuos de caña de azúcar, para evaluar el potencial alelopático sobre las arvenses. La cobertura vegetal se incorporó al suelo al comienzo del experimento, en las entre hileras del cultivo de caña para el biocontrol de arvenses, colocándose en capa de 0,05 m de altura extendida sobre el área experimental del tratamiento (Pérez-Figueroa, 2021; Agüero-Alvarado *et al.*, 2018; Valverde *et al.*, 2016), para un volumen de 0,15 m³, que corresponde a 11,25 kg de



material de cobertura vegetal, se utilizó un peso reloj con bandeja.

Para el control químico se utilizó herbicida 2,4-D Amina, herbicida hormonal sistémico, concentrado soluble (SL), inhibidor de auxinas sintéticas como la acción del ácido indolacético AIA (Canaza y Fernández, 2016), en dosis 0,5 a 1,0 kg i.a./ha, formulación utilizada por los cañicultores en la zona aplicándose sobre el área experimental del tratamiento con asperjadora de espalda.

Para la valoración de las arvenses se utilizó la escala visual (Tabla 1), propuesta por Agüero-Alvarado *et al.*, (2018 ob. cit.), aplicada a un área de muestreo de 1,00 m², la cual determina la cobertura porcentual de las arvenses en la unidad de muestreo experimental, para ello se utilizó un marco de madera de 0,50 m² (0.50 m x 1.00 m), aplicado 2 veces para completar 1,00 m² de muestreo/repetición/tratamiento. Los marcos fueron colocados cerca de las cepas de caña de la hilera del cultivo de caña, para evaluar las arvenses invasoras a la zona más cercana del mismo, al inicio y al final del experimento. La unidad de muestreo fue 1,00 m² por tratamiento, efectuando dos muestras/tratamiento/repetición, en un área de 0,50 m², tomando 2 por tratamiento, para totalizar 6 muestra por tratamiento, como lo recomienda Ciacci (2014).

Tabla 1. Escala visual para determinar la cobertura porcentual de arvenses en el área de muestreo.

Descripción	Porcentaje de Cobertura (%)	Nomenclatura
Escasa	0 a < 5	E
Leve	5 a < 20	L
Moderada	20 a < 50	M
Alta	50 a < 75	A
Muy Alta	75 a 100	Ma

Fuente: Agüero-Alvarado *et al.*, (2018).

Análisis de Resultados

El inventario de arvenses realizado indicó que las especies más abundantes fueron las gramíneas y ciperáceas (64,88%), en comparación con las de hojas anchas (29,73%), además, de una diversidad de especies en menor número, con un valor considerado (5,39%), existiendo diferencias significativas entre ellas (Tabla 2). Al aplicar la escala visual de infestación propuesta por Agüero-Alvarado *et al.*, (2018 ob. cit.), se encontró mayor infestación en *Cyperus rotundus* con $28,33 \pm 4,53$ plantas/m² ($33,01 \pm 7,91\%$), sin embargo, la infestación es moderada; las otras gramíneas presentan infestación leve (*Rottboellia exaltata*: $16,85 \pm 0,36$ y *Echinochloa colonum*: $15,02 \pm 3,37\%$). Por otra parte, la infestación de arvenses de hoja ancha es leve (23,23%), y escasa (6,50%).

Sin embargo, los cañicultores de la zona le han dado mayor importancia a estas



arvenses de hoja ancha, identificando las de mayor incidencia, *Ipomoea trifida* (13,78 ± 7,36 %), que se enreda entre los tallos de la caña de azúcar dificultando la cosecha mecanizada y *Amaranthus dubius* (9,45 ± 5,24 %), que invade el cultivo y llega a crecer más de un metro de altura, engrosando su tallo y obstaculizando las labores agrícolas en el cultivo. Estas afirmaciones fueron estudiadas por Naranjo *et al.*, (2020), al afirmar que, las arvenses son capaces de producir cambios significativos en la estructura, composición y procesos del agroecosistema, afectando el buen funcionamiento de las labores del cultivo de caña de azúcar. Esta razón ha llevado, a los cañicultores, al excesivo uso de 2,4-D Amina, quizás el exceso de su uso ha reducido, en cierta forma, la presencia de arvenses de hojas anchas, encontrándose una infestación leve. En otros estudios, estas arvenses de hoja ancha, las consideran especies perennes (Puricelli y Faccini, 2009), controladas con altas dosis de 2,4-D Amina en caña de azúcar (Arévalo *et al.*, 2011).

Tabla 2. Número y porcentaje de infestación de las especies arvenses colectadas durante la investigación.

Especies de Arvense	Individuos	\bar{X}/m^2	%	Infestación
<i>Cyperus rotundus</i> L.	1275,00 ± 2,02 a	28,33 ± 4,53 a	33,01 ± 7,91	Moderada
<i>Rottboellia exaltata</i> L.	651,00 ± 1,89 b	14,47 ± 2,15 b	16,85 ± 0,36	Leve
<i>Echinochloa colonum</i> (L.) Link.	580,00 ± 3,74 c	12,89 ± 3,22 c	15,02 ± 3,37	Leve
<i>Ipomoea trifida</i> (H.B.K.) G. Don.	532,00 ± 3,59 d	11,82 ± 6,74 d	13,78 ± 7,36	Leve
<i>Amaranthus dubius</i> Mart.	365,00 ± 2,45 e	8,11 ± 4,49 e	9,45 ± 5,24	Leve
Varias especies	208,00 ± 1,33 f	4,62 ± 2,05 f	5,39 ± 2,42	Escasa
<i>Commelina nudiflora</i> L.	139,00 ± 2,06 g	3,09 ± 2,20 g	3,60 ± 2,56	Escasa
<i>Desmodium procumbens</i> Swartz.	112,00 ± 1,86 h	2,49 ± 1,47 h	2,90 ± 1,64	Escasa

Fuente: Especies arvenses colectadas en la investigación (2022). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,01$).

En la Tabla 3, se presenta la incidencia y porcentaje de infestación de las arvenses sobre el cultivo de caña de azúcar, según Agüero-Alvarado *et al.*, (2018), donde se evidencia que no existen diferencias significativas de infestación entre los tratamientos evaluados. Al inicio de la investigación, la infestación de arvenses fue moderada para todos los tratamientos, Sin Control (11,28 ± 6,69 moderada), Biocontrol (10,48 ± 5,12 % moderada), Agroquímico (10,43 ± 5,15 % moderada), esto indica que la parcela experimental es homogénea en cuanto a la presencia de las arvenses, tanto gramíneas, ciperáceas como dicotiledóneas, o de hoja ancha, permitiendo evaluar el control de las misma en cada tratamiento.

Tabla 3. Comparación del efecto de control de arvenses entre los tratamientos utilizados sobre las variables evaluadas al inicio de la investigación.

Tratamiento	Inicio			
	Individuos	\bar{X}/m^2	%	Infestación
Sin Control	1354,00 ± 29,19 a	11,28 ± 6,69 a	35,06 ± 7,44 a	Moderada
Biocontrol	1257,00 ± 21,49 a	10,48 ± 5,12 b	32,55 ± 6,07 a	Moderada
Agroquímico	1251,00 ± 23,64 a	10,43 ± 5,15 b	32,39 ± 8,21 a	Moderada

Fuente: Datos de la investigación (2022). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$)



Sin embargo, en cuanto a la presencia de estas por metro cuadrado se encontró diferencias significativas, ocupando las arvenses de hoja angosta el 64,88 %/m² y las de hoja ancha 29,73 %/m², esto indica, según Agüero-Alvarado et al., (2018), que las arvenses de hoja angosta presentan una infestación muy alta, mientras las de hoja ancha la infestación es moderada; sin embargo, los cañicultores le toman más interés, para su control, a las arvenses de hoja ancha con la utilización de altas dosis de 2,4-D Amina, quizás esto se deba a la interferencia de estas con las labores de cosecha mecanizada. Al tratarse de caña de azúcar, autores como Canaza y Fernández (2016), resaltan el uso continuo de herbicidas para controlar las arvenses de hoja ancha que se enredan en los tallos de caña de azúcar interfiriendo en las labores de cosecha, provocando una reducción en la diversidad de éstas.

En la Tabla 4, se visualiza el resultado de los distintos controles evaluados al final del experimento, observándose un marcado efecto en la infestación de las arvenses. La aplicación de cobertura vegetal con restos de *Saccharum Officinarum*, como biocontrol alelopático, logró reducir las arvenses a una

escasa infestación de 3,47 ± 3,71 %, con respecto a la presentada al inicio (32,55 ± 6,07 %, moderada), y en comparación con la aplicación de herbicida 2,4-D Amina, 36,45 ± 5,63 %, que fue moderada, resultando significativamente igual a la infestación inicial de 35,06 ± 7,44 %. La respuesta de la cobertura con residuos de caña de azúcar, podrían deberse a las concentraciones del metabolito con actividad alelopática que inhibe la germinación y el desarrollo de las arvenses, debido que los residuos de caña de azúcar, no solo actúa con los compuestos alelopáticos para inhibir la germinación de las semillas, sino también bloquea la luz que estimula la germinación de muchas de las semillas de arvenses.

Tabla 4. Comparación del efecto de control de arvenses entre los tratamientos utilizados sobre las variables evaluadas al final de la investigación.

Tratamiento	Final			
	Individuos	\bar{X}/m^2	%	Infestación
Sin Control	1559,00 ± 1,68 a	12,99 ± 7,03 a	60,08 ± 6,78 a	Alta
Agroquímico	946,00 ± 2,71 b	7,88 ± 3,57 b	36,45 ± 5,63 b	Moderada
Biocontrol	90,00 ± 1,27 c	0,75 ± 0,80 c	3,47 ± 3,71 c	Escasa

Fuente: Datos de la investigación (2022). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$)

En este sentido, Souza et al., (1997), citado en Cabrera et al., (2013), comprobó que la mayor concentración de sustancias con actividad alelopática se encuentra en mayor concentración en las hojas, siendo



estas las que quedan como restos de cosecha entre los hilos del cultivo, cubriendo las arvenses existentes. Por esta razón, las coberturas se convierten en la principal herramienta para los productores en el manejo de arvenses al inhibir su germinación y el bloqueo de la luz que requieren para estimular su crecimiento.

El efecto en los distintos tratamientos sobre la longitud y el número de brotes de arvenses por m², se presentan en la Tabla 5, indicando diferencias significativas, entre el biocontrol alelopático y la aplicación del herbicida 2,4-D Amina, producto químico utilizado por los cañicultores de la zona en altas dosis, no así el tratamiento testigo que mostró alta germinación (68,13 ± 6,16), y mayor longitud de brotes (27,49 ± 2,71 cm), pero al cerrar el cultivo de caña de azúcar detuvo el crecimiento de estas arvenses; esto puede deberse al potencial alelopático de *Saccharum officinarum* reportado por Arévalo *et al.*, (2011), al aseverar que, los residuos de cosecha secos al sol, tiene eficiente control de plantas arvenses por fenómenos de alelopatía; y Sampietro *et al.*, (2007), citado en Muñiz (2017), afirman que, la caña de azúcar posee efectos alelopáticos intra e inter específicos, debido que los lixiviados de las hojas de *Saccharum officinarum*, inhiben

significativamente el crecimiento radicular y la germinación de arvenses.

Tabla 5. Comparación del efecto de control entre los tratamientos, en el número y longitud de brotes de arvenses al final de la investigación.

Tratamiento	NBA	LBA (cm)
Sin Control	68,13 ± 6,16 a	27,49 ± 2,71 a
Agroquímico	12,53 ± 2,18 b	4,65 ± 0,38 b
Biocontrol	0,53 ± 0,35 c	0,05 ± 0,06 c
CV	22,13	15,08
EE	1,03	0,15
R ²	0,97	0,88

Fuente: Datos de la investigación (2022). *Número de Brotes de Arvenses por m², **Longitud del Brotes de Arvenses por m². Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p ≤ 0,01).

Los resultados indican diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, Biocontrol Alelopático, Control Químico y Sin Control. Esta variación obliga a la toma de decisión en referencia al método de control a elegir, pensando la conservación ambiental y la salud humana, tomando en cuenta la peligrosidad de los agroquímicos y el abuso de estos en la agricultura. El efecto en el número de brotes de arvenses por m² (NBA), fue menor en el Biocontrol Alelopático, el cual se asocia con la germinación, con un promedio de 0,53 ± 0,35 de brotes, indicando el efecto de la inhibición de la germinación de arvenses, mientras que con



la aplicación de 2,4-D Amina, hubo un mayor número de brotes ($12,53 \pm 2,18$); quizás este efecto en 2,4-D Amina se deba que su efecto es sobre arvenses de hoja ancha y la mayor proliferación de arvenses son de hojas angostas.

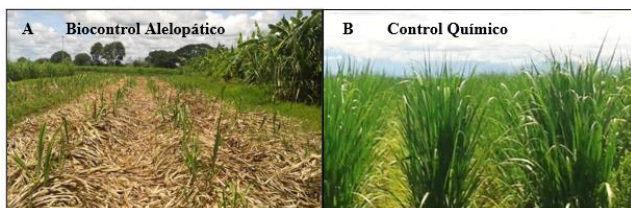
Cabrera *et al.*, (2013), reportaron similares resultados por la existencia de efectos alelopáticos de restos vegetales de la caña de azúcar sobre especies arvenses. Indicando que existe un efecto muy marcado en el biocontrol de las arvenses con cobertura vegetal de *Saccharum officinarum*, sobre el uso de agroquímicos. Es posible que esto se deba a la cobertura con el material vegetal y no al fenómeno alelopático de *Saccharum officinarum*, mientras que el herbicida accionó en función de su ingrediente activo sobre las arvenses. Por su parte, Ligña (2014), manifiesta que, las coberturas vegetales para controlar las poblaciones de arvenses, actúan es en la germinación de semillas a través de compuestos alelopáticos que son liberados cuando las hojas se descomponen e inhiben la germinación. No obstante, Alexander (2017), señala que, estos compuestos también pueden inhibir la germinación de las semillas de los cultivos comerciales, por lo que es importante considerar el cultivo a sembrar, esto significa que el propósito debe ser evitar que las

arvenses produzcan semillas y se multipliquen.

En cuanto a longitud de brotes de arvenses en cm (LBA), tuvieron el mismo resultado que el número de brotes, observándose un efecto inhibitor en el tejido meristemático permite detener de la elongación del tallo reduciendo el crecimiento de las arvenses, la diferencia fue altamente significativa entre los tratamientos evaluados. En el biocontrol la elongación del tejido meristemático fue mínimo ($0,05 \pm 0,06$ cm), a diferencia con la aplicación de 2,4-D Amina ($4,65 \pm 0,38$ cm). Esto se explica en que la mayoría de los herbicidas tienen la finalidad de erradicar poblaciones de especies invasoras, alterando su fisiología, pero no detienen su crecimiento permitiendo nuevos brotes, basándose en el desarrollo de la arvense (Muñiz, 2017), en algunos casos impiden su desarrollo normal causando su muerte (Khan, 2015), generalmente son clasificados, de acuerdo a su época de aplicación, selectividad y mecanismos de acción. Al contrario, las sustancias alelopáticas están relacionadas a procesos fisiológicos que pueden provocar interrupción del crecimiento, detención del desarrollo (Hernández, 2016), y hasta latencia de individuos de otra especie (Ciacci, 2014).

Con aplicaciones de residuos vegetales, los brotes de arvenses tardaron en emerger manteniéndose a escasa altura, menores a 0,05 m; en relación a esto, existen acuerdos entre diversos autores (Uliarte *et al.*, 2016; Arévalo *et al.*, 2011; Arévalo y Bertoncini, 2008; Medina y Valenzuela, 2003; Gliessman, 2002), que lo atribuyen a los residuos incorporados al suelo, ya sean dejados en la superficie o soterrados en la preparación del suelo; y tienen más influencia que los efectos alelopáticos de las plantas vivas, sobre plantas cultivadas, esto se observa en la Figura 1.

Figura 1(A). Aplicación residuos vegetales de *Saccharum officinarum* como cobertura vegetal alelopática. (B). Aplicación de herbicida, 2,4-D Amina como agroquímico, en caña de azúcar.



Fuente: Datos de la investigación (2022). Tomado con cámara REMI 9T MIUI Global, Modelo M2010J19SG.

En (A), se aprecia como surgen los brotes del cultivo caña de azúcar dejando bajo la cobertura de *Saccharum officinarum* las especies arvenses sin brotar por lo que su crecimiento es inhibido por el efecto alelopático. En (B), se muestra el quemado de las Arvenses por efecto del 2,4-D Amina que, una vez crecida la caña de azúcar, las

arvenses detienen su crecimiento por el efecto sombra y alelopático producto del cierre de la caña de azúcar entre los 60 a 90 días del corte. Con coberturas vegetales es posible obtener resultados en el control de arvenses, donde los residuos de *Saccharum officinarum*, en este caso la hoja, causaron inhibiciones en número de brotes y longitud radícula e hipocótilo de los brotes de las arvenses por m², en el cultivo de caña de azúcar.

Esto se debe a que los metabolitos que actúan en el fenómeno alelopático son liberados por lixiviación, volatilización, exudación radicular y descomposición (Cabrera *et al.*, 2013). Su toxicidad depende de la concentración, tasas de flujo, edad, estado metabólico de la planta, condiciones climáticas, estación del año y condiciones ambientales según Muñiz (2017). Otros autores, Altieri (1997); Camero, (1992); Labrada, (1986), citados en Rodríguez *et al.*, (2002), consideran la alelopatía como un fenómeno de excreción, es decir, exudados de sustancias con el efecto inhibitorio, estimulante e incluso autotóxico que provienen del follaje o parte subterránea de otras plantas, ya sean vivas, muertas o en descomposición.

Esto indica que, con el uso de los restos de cosecha como coberturas, *Saccharum*



officinarum puede ser utilizada en agricultura sostenible para manejar arvenses, debido que están basados en la alelopatía. Esta respuesta se ha observado, por los exsudados de sustancias fitoquímicas de esta especie sobre las especies arvenses. Indicando la susceptibilidad de las arvenses a estos compuestos, permitiendo utilizar esta planta como indicadora de la presencia de aleloquímicos en el suelo.

Conclusiones

Los resultados alcanzados sugieren que, bajo las condiciones de experimentación, existe un efecto inhibitorio significativo, tratado concoberturasvegetales en caña de azúcar sobre el crecimiento y la germinación de plantas arvenses, de hoja angosta, *Cyperus rotundus* y *Rottboellia exaltata* como de hojas ancha, *Ipomoea trifida*, y *Amaranthus dubius*.

Los residuos de cosecha de caña de azúcar tienen eficiente control de arvenses a través de la alelopatía, por lo que este es un fenómeno apropiado para utilizar en el biocontrol de estas especies en cultivo sostenible de caña de azúcar, siendo compatible con el ambiente. Sin embargo, los métodos evaluados, biocontrol alelopático con residuos de caña de azúcar y control agroquímico con aplicación de herbicida 2,4-

D Amina, ejercieron un adecuado control de las arvenses bajo las condiciones del ensayo.

La información aportada en esta investigación, deja abierta la posibilidad de realizar propuestas de manejo agroecológico en de caña de azúcar, siendo extendido a otros cultivos agrícolas, con el uso de biocontroladores alelopáticos de arvenses capaces de interceder con la viabilidad de los mismos en la conservación de la biodiversidad. Por lo que se debe profundizar este estudio en el biocontrol de arvenses con coberturas vegetales alelopáticas.

Recomendaciones

Se recomienda estudiar nuevas estrategias de biocontrol de plantas en los sistemas agrícolas, utilizando el fenómeno alelopático para biocontrol de arvenses, e integrar tecnología endogenológica de producción sostenible de la caña de azúcar compatibles con el ambiente. En posteriores investigaciones agrícolas, se requiere iniciar la triangulación ecológica, fisiológica y bioquímica a fin de establecer la alelopatía en la agricultura, conocer a profundidad sus interacciones con el ambiente para obtener productividad sostenible durante largo tiempo en el cultivo de caña de azúcar.



Agradecimientos

A la Corporación Venezolana Agraria-Azúcar (CVA-Azúcar), al Complejo Agroindustrial Azucarero Ezequiel Zamora, S.A. (CAAEZ. S.A.), a la Red de Productores y Productoras Libres y Asociados (REPLA), a la Academia de Ciencias Agrícolas de Venezuela (ACAV), por su valiosa colaboración a esta investigación.

Referencias

- Agüero-Alvarado, R., Rodríguez, A., González, M., Portuquez, P., y Brenes, S. (2018). *Abundancia y cobertura de arvenses bajo manejo convencional y orgánico de café y banano*. *Agronomía Mesoamericana*, 29(1), 85-93.
- Alexander, L. (2017). *Cultivos de cobertura: estrategia eficaz de control malezas en producciones orgánicas*. California, Estados Unidos: Editorial American Vegetable Grower.
- Almeida, V., Arévalo, R., Guirado, N., Rossi, F., Ambrosano, E., Mendes, P. (2005). *Efecto alelopático de *Roox Rottboellia exaltata* L., en dos cultivares de *Saccharum spp.** Matanzas, Cuba: ALAM-SEMH-SUCUMAL.
- Arévalo, R., Bertoncini, E., Aranda, E., y González, T. (2011). *Alelopatía en *Saccharum spp.* (caña de azúcar)*. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 15(1), 51-60.
- Arévalo, R., y Bertoncini, E. (2008). *Manejo sostenible de malezas (matospecies), en *Saccharum spp.* (Caña de azúcar)*. Chiapas, México: ASOMECEMA.
- Cabrera, D., Varela, A., Cuezco, J., y de la Vega, M. (2013). *Respuesta del cultivo de soja a la actividad potencialmente alelopática de la caña de azúcar*. *Revista Agronomía N. O. Argentina*, 33(2), 43-49.
- Canaza, L. y Fernández, C. (2016). *Efecto de la aplicación de diferentes herbicidas para el control de malezas, en pre siembras de Soya (*Glycine max* (L.) Merr.), zona Este, del departamento de Santa Cruz*. *Revista Apathapi* 2(1), 37-57.
- Ciacci, M. (2014). *Influencia de las coberturas vegetales sobre el comportamiento del cultivo del duraznero y sobre los atributos del suelo*. Mendoza, Argentina: Universidad Nacional del Litoral.
- Gliessman, S. (2002). *Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Hernández, M. (2016). *Potencial alelopático de *Phylastrigulosa* (M. Mart. y Gal.) Mold., *Sphagneticolatrilobata* L. Pruski e *Ipomoea batatas* (L.) Lam sobre arvenses y cultivos*. Santa Clara, Cuba: Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
- Khan, M. (2015). *Técnicas ecológicas de control de malezas (extracto alelopático), en el cultivo de trigo*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(6), 1307-1316.
- Ligña, M. (2014). *Efecto de cultivos de cobertura en el control de malezas y aporte de materias secas y nutrientes al suelo*. Proyecto especial de Ingeniero Agrónomo. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana.
- Manechini, C., Ricci, A., y Donzelli, J. (2005). *An overview of controlled and non-controlled weeds as influenced by sugarcane trashblankets*. Guatemala: ISSCT.
- Medina, J., y Valenzuela, J. (2003). *Coberturas vivas para el manejo*



- biológico de malezas*. Colima, México: ASOMECE.
- Muñiz, L. (2017). *Manejo de herbicidas sintéticos y extractos vegetales para controlar malezas en cultivos básicos: maíz, frijol y sorgo*. Tesis de maestría en Ciencias en Producción Agrícola. Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Naranjo, S., Obrador, J., García, E., Valdez, A., y Domínguez W. (2020). *Arvenses en un suelo cultivado con caña de azúcar con fertilización mineral y abono verde*. *Polibotánica* (50), 119-135.
- Pérez-Figueredo, H. (2013). *Fertirrigación nitrogenada reducida en rendimiento de caña de azúcar*. *Investigaciones Interactivas*, 3(20), 94-114.
- Pérez-Figueredo, H. (2020a). *Aproximación del estado del arte de la alelopatía: antecedentes, precepto, uso y significado agroecológico*. *Revista Politécnica y Territorial* 6(1), 191-203.
- Pérez-Figueredo, H. (2020b). *Evaluación de la variación de temperatura en Barinas: periodo 2000-2015*. *Ambientellania*, 3(1), 21-30.
- Pérez-Figueredo, H. (2021). *Biocontrol de arvenses utilizando cobertura vegetal muerta de especies alelopáticas en musácea*. *Revista Politécnica y Territorial* 7(2), 79-99.
- Puricelli, E., y Faccini, D. (2009). *Efecto de la dosis de glifosato sobre la biomasa de malezas de barbecho al estado vegetativo y reproductivo*. *Planta Daninha, Viçosa-MG*, 27(2), 303-307.
- Rodríguez, H., Mederos, D., y Hechevarría, I. (2002). *Efectos alelopáticos de restos de diferentes especies de plantas medicinales sobre la albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en condiciones de laboratorio*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 7(2), 10-28.
- Tucat, G., Daddario, J., y Bentivegna, D. (2014). *Alelopatía. Puede una planta producir sustancias que afecten el crecimiento de otra*. *Agro UNS*, 12(22), 18-20.
- Uliarte, E., Parera, C., Monte, R., Alessandria, E., y Dalmaso, A. (2016). *Potencial alelopático de lixiviados de cultivos de cobertura y malezas sobre plantas jóvenes de vid*. *Agriscientia*, 33(2), 99-111.
- Valverde, H., Morales, M., y Walsh, B. (2016). *Manual técnico agroecológico*. (H. Valverde, Ed.). Managua, Nicaragua: MAONIC.