



Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Agrónomo

Título: Efecto alelopático de la paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) sobre arvense (*Achyranthes aspera* var. *Indica* L) bajo condiciones controladas



Diplomante: Anísio de Almeida André Ivulo

Tutor: MSc. Walfrido Terrero Matos
(Profesor Auxiliar)

Curso: 2016-2017

“Año 59 de la Revolución”

La agricultura es la única fuente constante, cierta y enteramente pura de riqueza.

(J. Martí, 1883)

Dedicatoria

De todo corazón, a mi familia, a mis amigos, por su apoyo y confianza, por el amor y el cariño que en este inolvidable momento me han brindado, a todos ellos les dedico este Trabajo de Diploma

En especial a:

A mi mamá que me dio la vida y que, a pesar de no encontrarse entre nosotros, sigue siendo la persona más importante en mi existencia, su guía espiritual me ha ayudado a ser una mejor persona, a ser quien soy, no tenerla me ha hecho fuerte y sé valorar más a mis seres queridos y a ser mejor padre para mi Ángela...

A mi papá que ha sido madre, padre, abuelo, hermano, todo para mí, me ha apoyado incondicionalmente.

A mis hermanos que han estado conmigo en el cursar de mi vida, las ansias de verlos han sido un motor impulsor para culminar mi carrera

A mi segunda madre que nunca ha hecho diferencia entre mis otros hermanos y yo, me crio bien...

A mi niña que es lo más grande que tengo, espero de todo corazón sepa valorar todos los esfuerzos que he hecho por ella y que esta tesis le sirva para que de un modo u otro sea una mujer de bien, estudiosa...

Siento el deber de expresar mis más sinceros agradecimientos, a todas las personas que hicieron suyo mi empeño y me ayudaron en la culminación de este trabajo

A mis familiares, amistades y en especial a mi novia que me ha apoyado mucho.

A mis profesores que fueron un eslabón principal para llegar hasta donde lo he hecho

A mi tutor el MSc. Walfrido Terrero Matos que ha sido incondicional.

Un agradecimiento especial a esta REVOLUCION que ha permitido que yo y otros estudiantes de diferentes países vengan a recibir una excelente educación y convertirnos en magníficos profesionales.

Resumen

La alelopatía es un mecanismo de interferencia vegetal, mediado por la adición de fitotoxinas al ambiente. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto alelopático de la paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) sobre la germinación y el crecimiento inicial de la arvense (*Achyranthes aspera* var. Indica L.) bajo condiciones controladas. Se realizó una extracción sucesiva a la paja en la Universidad central de las Villas con solventes de polaridad ascendente (éter etílico, etanol y agua), posteriormente se procedió a la identificación de metabolitos secundario del tipo cualitativo, haciendo uso de reactivos de coloración y precipitación. Se montó un experimento en el laboratorio de Fisiología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias en la Universidad de Cienfuegos en el periodo comprendido de enero de 2016 a diciembre de 2016, el diseño fue completamente aleatorizado con seis tratamientos, cuatro repeticiones y se evaluó porcentaje de germinación, porcentaje de masa seca (MS), longitud del vástago y longitud de la radícula. El tamizaje fitoquímico realizado arrojó presencia de cumarinas, fenoles y taninos. Los resultados indican que la paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) ejerció un efecto alelopático negativo sobre la germinación y crecimiento inicial de (*Achyranthes aspera* var. Indica L.). La mejor dosis resultó ser la del 75% de paja de caña.

Palabras clave: Alelopatía, arvenses, paja de caña

Summary

Allelopathy is a mechanism of plant interference, mediated by the addition of phytotoxins to the environment. The objective of this research was to evaluate the allelopathic effect of sugarcane straw (*Saccharum* spp. Hybrid) on the germination and initial growth of the arvense (*Achyranthes aspera* var. *Indica* L.) under controlled conditions. A successive straw extraction was carried out at the Universidad de las Villas with solvents of upward polarity (ethyl ether, ethanol and water), followed by the identification of secondary metabolites of the qualitative type, using reagents of coloration and precipitation. An experiment was set up at the Plant Physiology Laboratory of the Faculty of Agricultural Sciences at the University of Cienfuegos in the period from January 2016 to December 2016, the design was completely randomized with six treatments, four replicates and a percentage of Germination, percentage of dry mass (DM), stem length and root length. The phytochemical screening carried out showed presence of coumarins, phenols and tannins. The results indicate that sugarcane straw (*Saccharum* spp. Hybrid) exerts a negative allelopathic effect on the germination and initial growth of (*Achyranthes aspera* var. *Indica* L.). The best dose turned out to be that of 75% of cane straw.

Keywords: Allelopathy, weeds, cane straw.

Tabla de contenido

Introducción	1
Capítulo 1: Revisión bibliográfica	5
1.1 Generalidades de la caña de azúcar.....	5
1.2 Las arvenses en la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp. híbrido).....	6
1.2.1 Características de (<i>Achyranthes aspera</i> var. <i>Indica</i> L.).....	8
1.2.2 La alelopatía en el control de las arvenses.....	10
1.3. Antecedentes históricos en alelopatía.....	11
1.3.1. La alelopatía como fenómeno biológico.....	12
1.3.2 Especies de plantas con efectos alelopáticos.....	14
1.3.3 Efectos y sistemas alelopáticos en la agricultura.....	16
1.3.4 Naturaleza química de los agentes alelopáticos.....	17
1.3.5 Uso beneficioso de la alelopatía.....	18
1.4 La paja de caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp. híbrido). Su efecto alelopático.....	19
Capítulo 2: Materiales y métodos	20
2.1 Identificación de los metabolitos secundarios presentes en la paja de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp. híbrido).....	21
2.2 Ensayos de laboratorio.....	22
Capítulo 3: Resultados y discusión	26
3.1 Tamizaje fitoquímico realizado a la paja de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp. híbrido).....	26
3.2 Efectos alelopático de la paja de la caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp. híbrido) sobre la germinación de <i>Achyranthes aspera</i> var. <i>Indica</i> L.....	30
3.3 Efectos alelopáticos de la paja de caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp. híbrido) sobre el crecimiento inicial de <i>Achyranthes aspera</i> var. <i>Indica</i> L.....	31
Conclusiones	35
Recomendaciones	36
Bibliografías	37
Anexos	45

Introducción

En la actualidad los problemas ambientales se han convertido en el centro de atención de especialistas de todas las ramas incluida la agricultura, imponiéndose para América Latina, el Caribe y en especial Cuba, la necesidad de buscar alternativas tecnológicas para un desarrollo agrario sostenible. (Espinosa, 2007).

La alelopatía es un mecanismo de interferencia vegetal, mediado por la adición de fitotoxinas al ambiente (Weston 1996). Distintos compuestos químicos con potencial alelopático están presentes en numerosas especies de plantas distribuidos en diferentes tejidos (Einhellig 1996). En condiciones adecuadas, pueden ser liberados, generalmente en la rizósfera, en cantidades suficientes como para afectar a las plantas vecinas (Weidenhamer 1996).

Una forma de utilizar la alelopatía en la agricultura es a través del uso de productos naturales como bioherbicidas. Este enfoque al manejo de las arvenses es seguro para el ambiente comparado con los herbicidas sintéticos (Xuan et al., 2002).

Las arvenses ocasionan daños a los cultivos por diferentes vías: Por competencia directa por el agua, nutrientes, luz y espacio vital; por producción de aleloquímicos que inhiben la germinación y reducen el crecimiento y rendimiento de las plantas cultivables o intoxican a los animales y al hombre; por ocasionar daños indirectos al servir de hospedantes a plagas y enfermedades; entorpece las labores de los cultivos, incluyendo la protección fitosanitaria y la cosecha; por contaminar los alimentos, etc.; todos estos efectos quedan recogidos en el concepto de interferencia de las malezas (Pérez, 2001).

Un método alternativo en el control de arvenses, es la aplicación de compuestos aleloquímicos antes o junto con herbicidas sintéticos para aumentar el efecto de los dos productos y por ende reducir las cantidades de aplicación de herbicidas sintéticos (Ferguson et al., 2013).

Se sugiere, el empleo de aleloquímicos naturales o modificados como herbicidas, transferencia genética de propiedades alelopáticas a cultivares comerciales; emplear plantas alelopáticas en rotación de cultivos, como plantas acompañantes y como abono verde; uso de "mulchings" fitotóxicos y manejo de cubiertas vegetales para la supresión

de arvenses, especialmente en sistemas de producción de conservación y de no laboreo (Macías, 1995).

La caña de azúcar en su estado natural está formada por 8,44 % de cogollo y hojas verdes, 19,74 % de vainas y hojas secas, y 71,82 % de tallos limpios. La paja posee una estructura muy diferente al cogollo, está constituida por la vaina y la hoja seca, mientras que el cogollo está formado por fracciones de tallo y hojas verdes (Bambanaste, 1986).

La paja extraída queda sobre el suelo en forma de una cubierta protectora que realiza una importante función de conservación de la humedad, evita la erosión y contribuye a la lucha contra malas hierbas. Solamente por este concepto se reportan disminuciones en el consumo de herbicidas de un 35% y hasta un 50% si se aplica localizado y las labores de cultivo mecánico de hasta un 33% (Díaz-Casas, 1996).

Las plantas tienen sus propios mecanismos de defensa y los aleloquímicos pueden ser herbicidas naturales (de hecho, lo son). Sin embargo, la alelopatía incluye numerosos procesos complejos, donde diferentes químicos influyen en los efectos alelopáticos. Además, ambas, el cultivo y las plantas silvestres, muestran estos efectos; las plantas cultivadas son más interesantes ya que ellas pueden ser utilizadas en el futuro como material para la producción de herbicidas naturales (Macías, F. A. et al, 1996).

El *Achyranthes áspera* L. (Amaranthaceae) es un arbusto conocido en todo el país con el nombre común de Rabo de Gato. Es un arbusto de hasta un metro de altura, con tallos cuadrangulares y pelosos poco ramificados. Hojas aovadas de 4-20 cm de longitud, opuestas con peciolo de hasta 2,5 cm de longitud, flores pequeñas y poco significativas, de finas espigas terminales de hasta 30 cm de longitud (Roig, 1964).

El *Achyranthes áspera* L. ha sido incluida por la comunidad científica en la lista nacional de especies de plantas invasoras y potencialmente en la República de Cuba - 2011 como resultados del proyecto "Plantas invasoras presentes en la República de Cuba - estrategia para la prevención y manejo de especies con mayor nivel de agresividad" auspiciado por el Programa Nacional de Ciencia y Técnica "Cambios Globales y Evolución del Medio Ambiente Cubano".

Aunque en la provincia de Cienfuegos se realizó un inventario sobre las plantas que tenían un efecto repelente o fitoplaguicida sobre los agentes nocivos que atacaban los

cultivos en las diferentes manifestaciones de la Agricultura Urbana, y se encontraron que 68 especies beneficiosas (Ortega *et al.*, 2009).

Hasta el momento no se tiene referencia de estudios integradores que se hayan realizados en esta provincia acerca del efecto alelopático de la paja de caña de azúcar sobre la arvense (*Achyranthes aspera* var. Indica L.) de manera que permitan realizar recomendaciones sobre el uso de este residuo en beneficio del manejo de esta arvense.

Problema científico

¿Cuál será el efecto alelopático de la paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) sobre la germinación, y crecimiento inicial de la arvense (*Achyranthes aspera* var. Indica L.) bajo condiciones controladas?

Hipótesis

La incorporación de paja de caña de azúcar al suelo generará un efecto alelopático sobre germinación y crecimiento inicial de la arvense (*Achyranthes aspera* var. Indica L.) bajo condiciones controladas.

Objetivo general

Evaluar el efecto alelopático de la paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) sobre la germinación y el crecimiento inicial de la arvense (*Achyranthes aspera* var. Indica L.) bajo condiciones controladas.

Objetivos específicos

1. Identificar mediante el tamizaje fitoquímico los metabolitos secundarios presentes en la paja de la caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido).
2. Determinar el efecto alelopático de la paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) sobre la germinación de (*Achyranthes aspera* var. Indica L.) bajo condiciones controladas
3. Determinar el efecto alelopático de la paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) sobre crecimiento inicial de (*Achyranthes aspera* var. Indica L.) bajo condiciones controladas

Impactos esperados.

Económico:

Se evitaría el crecimiento de las arvenses, y a su vez se lograrían disminuir los gastos en salarios, combustibles y herbicidas, para mantener áreas limpias, cuestión esencial para la cosecha por el beneficio que reporta el uso limitado de combustible y herbicidas, si se tienen en cuenta los altos costos que tienen en el mercado estos productos.

Ambiental:

Menor contaminación ambiental, puesto que la paja por lo general se quema la cual es altamente destructiva si se realiza indiscriminadamente, genera daños al suelo y emite partículas de carbón vegetal que pasan directamente al medio ambiente. La atmósfera se contamina, ocurren variaciones climatológicas y se daña sensiblemente el entorno que nos rodea. La pajar de caña de azúcar realiza una importante función de conservación de la humedad, evita la erosión y contribuye a la lucha contra malas hierbas.

Social:

Mayor producción de alimentos para la humanidad a partir de una mejor planificación y rotación de cultivos.

Capítulo 1: Revisión bibliográfica.

1.1 Generalidades de la caña de azúcar.

Estudios recientes indican que la caña de azúcar, es una planta originaria de Nueva Guinea (sureste asiático) que se desarrolla exitosamente en todas las regiones tropicales y semitropicales del planeta. Sus propiedades alimenticias se conocen 4.500 años a.C., es tratada por vez primera, en el año 510 a.C. en Persia, Su desembarco en Europa se produce en el siglo IV a.C., donde los griegos la dejan en herencia al Imperio Romano, en el siglo VII d.C., los árabes la introducen en todo el Norte de África luego de descubrirle las infinitas posibilidades que presenta y perfeccionan su procesado y la refinan. La expansión de su consumo se da a conocer un siglo más tarde en todo el mundo cristiano (Agrevo, 2008).

La caña de azúcar es una de las plantas de más alto rendimiento en biomasa por área y unidad de tiempo, produce junto con el azúcar, el alimento energético de consumo humano más completo y difundido en el mundo, una parte de sus necesidades de fertilizante, la energía necesaria para su elaboración industrial y es materia prima de alrededor de un centenar de productos derivados de diferentes generaciones. A estas cualidades excepcionales se suma su adaptabilidad a condiciones adversas del medio ambiente, resistencia a plagas y enfermedades, la fijación de CO₂ comparable a los bosques tropicales, característica que la convierte en el cultivo por excelencia paradigma de una agricultura sostenible. (Cuellar *et al.*, 2003).

Paradójicamente, los métodos de cosecha de este cultivo están orientados a aprovechar sólo los tallos de la planta, dejando el resto en el campo, en el mejor de los casos como residuos agrícolas de la caña (RAC), generalmente quemados antes del corte, en aras de alcanzar alta productividad en la cosecha, y por la poca asistencia al desarrollo de

tecnologías para el corte mecanizado de la caña, la recolección, preparación y manipulación de los residuos agrícolas de caña (Aguilar, 2012).

La caña de azúcar en su estado natural está formada por 8,44 % de cogollo y hojas verdes, 19,74 % de vainas y hojas secas, y 71,82 % de tallos limpios. La paja posee una estructura muy diferente al cogollo, está constituida por la vaina y la hoja seca, mientras que el cogollo está formado por fracciones de tallo y hojas verdes (Bambanaste, 1986).

En Cuba la cosecha de caña verde se ha venido introduciendo paulatinamente y hoy está generalizada en alrededor del 90% de las áreas. También se emplea un sistema de cosecha mecanizada (74% del área) con máquinas que realizan una limpieza parcial de la caña por medios neumáticos. La paja extraída queda sobre el suelo en forma de una cubierta protectora que realiza una importante función de conservación de la humedad, evita la erosión y contribuye a la lucha contra malas hierbas. Solamente por este concepto se reportan disminuciones en el consumo de herbicidas de un 35% y hasta un 50% si se aplica localizado y las labores de cultivo mecánico de hasta un 33% (Díaz-Casas, 1996).

1.2 Las arvenses en la caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido)

Con la aparición de la agricultura, el hombre ha intentado con los medios disponibles, mejorar el rendimiento de su actividad agrícola (Laborda, 2008).

Las arvenses competían con los cultivos e interferían con la ejecución de las diferentes labores, por lo que hubo que combatir las (García y Fernández, 1991). Se definen las malas hierbas como plantas que crecen en una localización no deseada, compitiendo por nutrientes con los cultivos, pudiendo contaminar con sus semillas, además de perpetuar el problema a lo largo del tiempo (Vyvyan, 2002).

Son muchos los conceptos y criterios de cómo llamar a las arvenses, malezas; plantas indeseables, infectantes, malas hierbas, adventicias, plantas fuera de lugar, (Acuña, 1974, Pitty, 1997, Fernández, 1991).

Este término arvense significa “campo”, o sea planta que crece de manera silvestre (puede ser nociva o no). Desde el punto de vista agroecológico se prefiere este término pues son plantas que crecen de manera espontáneas en diferentes lugares y que pueden tener interferencias intra e interespecíficas. Las arvenses comúnmente llamadas malezas

son plantas que interfieren en la actividad humana en áreas cultivables y no cultivables. Conceptualizar maleza no es complicado porque se puede resumir en plantas no deseadas (Bárcenas et. al, 2013).

El manejo integrado de arvenses, conocido por sus siglas en inglés IWM, Integrated Weed Management, tiene por objetivo manipular la relación cultivo/arvense de manera que el crecimiento y producción del cultivo sea el más favorecido. Para lograr esto se aplican técnicas como: control físico, control cultural, control químico y control biológico (Van, 2013).

Las arvenses ocasionan daños a los cultivos por diferentes vías: Por competencia directa por el agua, nutrientes, luz y espacio vital; por producción de aleloquímicos que inhiben la germinación y reducen el crecimiento y rendimiento de las plantas cultivables o intoxican a los animales y al hombre; por ocasionar daños indirectos al servir de hospedantes a plagas y enfermedades; entorpece las labores de los cultivos, incluyendo la protección fitosanitaria y la cosecha; por contaminar los alimentos, etc.; todos estos efectos quedan recogidos en el concepto de interferencia de las malezas (Pérez, 2000).

Las arvenses pueden llegar a producir pérdidas significativas en los cultivos. Se llega a invertir más del 40% del tiempo laboral, fundamentalmente a través del desyerbe; donde las mujeres y niños de familias cubren la mayor parte de estas labores y dejan de ir regularmente a la escuela (Singh *et al.*, 2014).

Las arvenses constituyen especies de plantas que al convivir en competencia con cultivos económicos deterioran sensiblemente sus rendimientos; sin embargo, en la concepción teórica de la agricultura sostenible, las arvenses son un elemento clave a considerar y su manejo se encamina a mejorar o resolver problemas de erosión, cobertura y conservación de la fertilidad del suelo. También la diversidad de especies de arvenses/m² contribuye al incremento de la estabilidad total en los sistemas agrarios, en presencia de niveles tolerables de abundancia, con lo cual aumentarían los insectos benéficos (Blanco y Leyva 2010).

De acuerdo a reportes internacionales las pérdidas en agricultura se presentan en 9,6% por insectos, 13,6% por erosión, 16,7% enfermedades en animales, 26,3% enfermedades

en plantas y 33,8% por malezas (FAO, 2012). En caña de azúcar puede afectar la cosecha hasta un 82% cuando no se efectuó ningún control de malezas (Arevalo *et al.*, 1997).

La caña de azúcar a pesar de ser altamente eficiente en el uso de los recursos disponibles para su crecimiento y desarrollo se ve afectado en las etapas iniciales de crecimiento, por las malas hierbas, que en muchos casos utilizan los mismos recursos de manera eficiente por presentar la misma ruta metabólica de la fijación de carbono (C4) (Procópio *et al.*, 2003).

La caña de azúcar es esencialmente un cultivo industrial de altos insumos y los herbicidas selectivos son el principal medio de control de malezas. En el cultivo de la caña de azúcar alrededor de 1000 especies de malezas (*matospecies*) han sido constatadas en el mundo. (Arévalo *et al.*, 2003). El Rabo de gato (*Achyranthes aspera var. Indica L.*) constituye una de estas arvenses.

1.2.1 Características de (*Achyranthes aspera var. Indica L.*)

Descripción técnica

Nombre científico

Achyranthes aspera L

Familia botánica

Amaranthaceae

Basada en Burguer, (1983).

Hábito y forma de vida: Hierbas, a veces algo leñosas en la base, perennes o anuales.

Tamaño: De 0.4 a 1.5 (raramente 2) m de alto.

Tallo: Erecto o ascendente, escasamente pubescente hacia las puntas o más o menos densamente pubescente, con tricomas simples de hasta 1 mm de largo.

Hojas: Opuestas y pecioladas, los pecíolos de 0.1 a 3 (raramente 4) cm de longitud, con los márgenes de la lámina continuándose hasta el pecíolo, las láminas de las hojas elípticas, ovadas, anchamente ovadas, orbiculares, obovado-orbiculares o anchamente

rómbicas, de 1 a 20 cm de largo y 2 a 9 cm de ancho, con el ápice acuminado o redondeado-apiculado, base cuneada o largamente atenuada, glabriúsculas o pubescentes densamente en el envés, con tricomas simples y rectos de 0.2 a 0.7 mm de largo.

Inflorescencia: Pedunculadas, generalmente espigas, raramente panículas poco ramificadas, ubicadas en la punta de los tallos (terminales) y a veces también en las axilas de las hojas, elongadas (de 2 a 45 cm de largo), con muchas flores amontonadas en la punta de la inflorescencia y más espaciadas hacia la base, las flores, que presentan pedicelos muy cortos (son casi sésiles), se giran (quedando su ápice hacia abajo) sobre el eje de la inflorescencia.

Flores: Cada flor sostenida por una bráctea y 2 bractéolas, las brácteas ovadas, de 2.5 a 3.8 mm de largo, glabras dorsalmente, el margen a veces con tricomas, el nervio principal formando una cerda recta y aplanada; las bractéolas, claramente más cortas que la flor, son ovadas y translucidas, pero el nervio principal está notoriamente engrosado, formando una espina fuerte, recta y amarillenta; flores bisexuales, con 4 o 5 tépalos, lanceolados o angostamente ovados, iguales o algo desiguales, los externos de 3.6 a 7.2 mm de largo, los internos de 3.2 a 6.8 mm de largo, acuminados o atenuados en el ápice, unidos en la base, hialinos en el margen, glabros, escariosos, con 3 a (raramente 5) nervios, los internos generalmente con 1 nervio; los filamentos filiformes de 1.4 a 2.6 mm de largo, unidos basalmente, truncados en el ápice, con los márgenes fimbriados (divididos en segmentos muy finos) hacia el ápice y que a veces presentan una escama en su cara externa; ovario con 1 ovulo, estilo delgado de 0.8 a 1 mm de largo, estigma capitado.

Frutos y semillas: Los frutos son utrículos cubiertos por los tépalos endurecidos, son elípticos o cilíndricos, con el ápice truncado y la base redondeada, indehiscentes; semilla cortamente cilíndrica o angostamente ovoide, de 1.6 a 2.5 mm de largo, apenas reticulada, casi lisa.

1.2.2 La alelopatía en el control de las arvenses.

Durante muchos años, los trabajos sobre alelopatías fueron llevado a cabo principalmente por botánicos; estos consistían en ensayar la práctica de dejar los restos del cultivo como cubierta, y sus posibles efectos alelopáticos sobre los cultivos posteriores, estudiar la alelopatía en la rotación de cultivos o intercalar cultivos alelopáticos y analizar el efecto de extractos de plantas con propiedades alelopáticas sobre el rendimiento de cosechas (Oliveros y Bastidas, 2008).

Se sugiere, el empleo de aleloquímicos naturales o modificados como herbicidas, transferencia genética de propiedades alelopáticas a cultivares comerciales; emplear plantas alelopáticas en rotación de cultivos, como plantas acompañantes y como abono verde; Uso de “mulchings” fitotóxicos y manejo de cubiertas vegetales para la supresión de arvenses, especialmente en sistemas de producción de conservación y de no laboreo (Macías, 1995).

En los últimos años se ha producido un gran crecimiento en la investigación de los productos naturales responsables de estos efectos (Vyvyan, 2002). La alelopatía de cultivos para el manejo de malezas, como elemento proteccionista del medio, es un aspecto que ha sido poco desarrollado y aún menos introducido en la práctica agrícola en Cuba (García, 2005).

En la actualidad se han comprobado 400 casos de resistencia por modo de acción de diversos herbicidas, lo que indica claramente la necesidad urgente de desarrollar métodos para el manejo integrado de arvenses. Varias prácticas como el monocultivo, el uso continuado de un mismo tipo de herbicida y aplicaciones de baja calidad de estos productos con equipos y boquillas en mal estado provocan la rápida aparición de resistencia de distintas especies de arvenses (Heap, 2013).

Desde su establecimiento como fenómeno ecológico, la alelopatía ha experimentado un desarrollo casi vertiginoso que la sitúa hoy dentro de los temas más importantes de la investigación agrícola como una vertiente proteccionista del medio (Labrada *et al.* 1996).

Las investigaciones en este campo deben estar dirigidas hacia el estudio de los efectos que causan los residuos de las malezas y cultivos, sobre los cultivos siguientes en rotación

y la de terminación de las plantas cultivables capaces de ejercer efectos de inhibición sobre especies importantes de malezas (Kropff y Walter, 2000).

Una de las formas más sencillas de examinar las propiedades alelopáticas de una especie es mediante bioensayos, en los que se cuantifica la germinación y/o emergencia de plántulas y se mide la radícula y/o hipocótilo (Zamorano, 2006).

Hay muchos materiales y compuestos que se pueden obtener de productos naturales, utilizados directamente o como base para el desarrollo de moléculas herbicidas y cuyo potencial para el manejo de malezas ha sido documentado. Cuando las plantas han muerto o los cultivos han terminado su ciclo de vida, algunas partes pueden liberar sustancias químicas (aleloquímicos) durante el proceso de descomposición y luego ser lavados (Duke *et al.*, 2002).

Los efectos alelopáticos también pueden manifestarse como resultado de la descomposición de los residuos de los cultivos. Pueden formarse sustancias tóxicas que inhiben el crecimiento de las plantas, en condiciones anaerobias. En algunos casos, como en el uso de los acolchados y abonos verdes pueden utilizarse toxinas de las plantas liberadas durante estos procesos para inhibir el crecimiento y desarrollo de otras (Xavier, 2012).

Un cultivo alelopático puede ser utilizado potencialmente para manejar las especies de arvenses y por tanto reducir la necesidad de control, especialmente el uso de herbicidas. Esto se puede lograr plantando una variedad con estas cualidades alelopáticas, intercalado con los cultivos, en una secuencia rotacional para controlar el crecimiento de la arvense subsecuente Ferguson *et al.*, (2013).

1.3. Antecedentes históricos en alelopatía.

La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y la ruda (*Ruta graveolens* L) nunca crecen juntas ni cerca una de otra. También hay tal antipatía entre la planta de repollo (*Brassica oleraceae*) y la vid (*Vitis* sp) que una moriría en el lugar donde crece la otra. Browne en su "Jardín de Cyrus" publicado en 1658, informa que "los malos y buenos efluvios de las verduras promueven o debilitan unos a otros" (Culpeper ,1633).

El trébol (*Trifolium pratense*) tiene dificultades para crecer en distritos donde se había cultivado la planta constantemente porque el suelo adquiere la enfermedad del trébol. También puntualizó que la enfermedad del trébol puede ser prevenida dejándose un intervalo de siete a ocho años entre cultivos de trébol (Young ,1804).

Los antecedentes señalados anteriormente indican que desde muy antiguo se han observado casos de alelopatía, pero no fue sino después del 1900 que se condujeron experimentos científicos para estudiar este fenómeno. Es importante destacar que muchas plantas que son conocidas por sus propiedades medicinales presentan también efectos alelopáticos. (García, 2005).

Las arvenses pueden afectar a los cultivos por medio de la excreción de sustancias tóxicas al medio que limitan el desarrollo de otras plantas a su alrededor, fenómeno conocido como alelopatía (Farooq *et al.*, 2011).

1.3.1. La alelopatía como fenómeno biológico.

Al generalizar el concepto de alelopatía como todas las interferencias entre seres vivos, provocadas por sustancias químicas por ellos elaboradas, independientemente de ser o no del reino vegetal. En este sentido, (Fatope, 1995) planteó que las toxinas alelopáticas pueden provocar diferentes efectos dentro de los que menciona: inhibir el desarrollo de plantas, repelencia de insectos, anti alimentario de insectos y ácaros, insecticidas, fungicidas y herbicidas (Almeida ,1985).

El concepto de alelopatía, dado por la Sociedad Internacional de Alelopatía, en su Primer Congreso en 1996, corroborado por (Macías *et al.* ,1998; Igartuburu, 2000; Macías *et al.*, 2000)... "es aquella ciencia que estudia cualquier proceso que involucre metabolitos, preferentemente secundarios, de origen vegetal o microbiano, que influyan en el crecimiento y desarrollo de sistemas biológicos". Los efectos alelopáticos no sólo se observan en ecosistemas naturales, sino también en ecosistemas cultivados (agroecosistemas).

El principio central de la alelopatía surge del hecho de que estas sustancias metabólicas, llamadas aleloquímicos, que son liberados del organismo por lixiviación, exudación, volatilización, de las partes aéreas o subterráneas de la planta al medio ambiente, o por la descomposición de sus residuos en el suelo en cantidades suficientes. Los mismos

pueden manifestar efectos inhibitorios, estimulantes e incluso autotóxicos en plantas de cultivos o arvenses al ser incorporados por estos al medio (Bhadoria, 2011; Ferguson *et al.*, 2013).

La influencia del fenómeno que hoy llamamos alelopatía fue reconocida en la agricultura por Democritus y Theophrastus en la quinta y tercera centuria a.n.e., respectivamente, y por el botánico suizo De Candolle en 1832. Este último reconoció por primera vez la implicación de compuestos químicos en la interacción planta-planta (Rice, 1974).

El término alelopatía o teletoxicidad, es cualquier efecto causado directa o indirectamente por un organismo sobre otro a través de la liberación en el ambiente de productos químicos por él elaborados; que no se conoce exactamente si las sustancias alelopáticas representan el producto final del metabolismo celular o si son sintetizados por las plantas con estas funciones específicas (Almeida, 1987).

El fenómeno de alelopatía se introdujo inicialmente en las prácticas agrícolas con la finalidad de explotar los cultivos o variedades con alto potencial alelopático, para inhibir el crecimiento y desarrollo de arvenses, minimizando por tanto la aplicación de herbicidas (Chengxu *et al.*, 2011).

Diversos autores consideran la alelopatía como un fenómeno de excreción, es decir, exudados de sustancias con efecto inhibitorio, estimulante e incluso autotóxico que provienen del follaje o partes subterráneas de otras plantas ya sean vivas, muertas o en descomposición (Anaya, (1997). Extractos de una misma planta producen efectos diferentes sobre distintos cultivos, tal es el caso de extractos acuosos de *Piper* sp que favorecen la germinación de la lechuga e inhiben totalmente la de semillas de tomate.

Los compuestos alelopáticos alteran una gran cantidad de procesos fisiológicos, como: división y diferenciación celular, traslado de iones y agua, metabolismo de fitohormonas, respiración, fotosíntesis, funciones de enzimas, traducción de expresión de genes (Shou y Yu ,2006).

1.3.2 Especies de plantas con efectos alelopáticos.

Se confieren a la paja de *Tagetes patula* L. un alto poder de inhibición en la germinación de *Euphorbia heterophylla* L., *Amaranthus spp*, *Desmodium purpureum* y *Momordica charantia* L., sin afectar el cultivo del maíz (Altieri y Doll ,1978; Altieri ,1995) El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el sorgo (*Sorghum spp*) son afectados por los residuos de la yuca (*Manihot sculenta* K.), por los de *T. patula* y por la propia hojarasca del frijol.

Los residuos de trigo (*Triticum aestivum* L.), avena (*Avena spp*), maíz (*Zea mays*) y sorgo contienen sustancias alelopáticas solubles en agua con propiedades reguladoras del crecimiento que reducen el crecimiento de las plántulas de trigo.persistencia de esos efectos es de cerca de 2 semanas en el caso de las del trigo (*Triticum aestivum* L) y la avena (*Avena spp*), y de 22 a 28 semanas en las de maíz y sorgo. La susceptibilidad del trigo es variable con el cultivar (Almeida y Rodríguez 1985; Almeida 1987; Einhellig y Souza ,1992).

Se realizaron varios ensayos, en condiciones de laboratorio, para comprobar el efecto provocado por extractos acuosos, al 5 y 10%, de *Cyperus rotundus* L, *Euphorbia heterophylla* L. y *Parthenium hysterophorus* L. aplicados a girasol (*Helianthus spp.*), maíz (*Zea maiz*), frijol (*P. vulgaris*), soja (*Glycine max* L.) y algodón (*Gossypium barbadense* L.). Los mayores efectos inhibitorios los provocaron las malezas *P. hysterophorus* y *C. rotundus* al 10% sobre los cultivos girasol, maíz y algodón, disminuyendo tanto su germinación como la elongación del tallo y las raíces. Comparativamente, frijol y soja son resistentes al efecto alelopático de estas malezas (Madhu *et al.*, 2011).

La paja y rastrojos de arroz (*Oryza sativa*) inhiben considerablemente la germinación y crecimiento inicial de la avena y el trigo, y totalmente a la lenteja (Tamak *et al.* ,1994).

Algunas especies cultivadas han mostrado efectos autotóxicos cuando se cultivan continuamente sobre el mismo suelo. Cultivos continuos de *Colocasia sculenta* L provocaban un decrecimiento superior al 50 % de los rendimientos. Al comparar las propiedades químicas del suelo en cuanto a Calcio, Nitrógeno y ácido fosfórico asimilables, las diferencias con respecto al suelo del cultivo en rotación con otras especies, estas no fueron significativas; sin embargo, encontraron que extractos de *Cyperus sculenta* reducen el largo del epicotilo y de la raíces en un 87 y 68%

respectivamente, comparados con el control. Al realizar la prueba con residuos en el suelo encontraron el mismo efecto (Tsuzuki *et al.*, 1995).

En el cultivo de girasol (*Helianthus* spp.) existe poca presencia de malezas debido a su fuerte acción alelopática contra diversas especies, que puede llegar a ser autotóxica con altas concentraciones (Leahter ,1986).

El maíz en particular produce metabolitos secundarios en hojas, raíces y polen (ácido hidroxámico, fenilacético, fenilbutírico y benzóico). Algunos de estos compuestos poseen actividad alelopática, ello explica el por qué algunos campesinos aseguran que la fructificación de la calabaza (*Cucurbita pepo* L.), el chayote (*Sechium edule* S.W.) y la sandía (*Citrillus vulgaris* L) puede ser reducida por el polen del maíz que cae sobre estas plantas o que las hojas de frijol muestren síntomas de intoxicación con el mismo tipo de polen (Anaya, 1996).

Existen géneros de plantas que comúnmente poseen, transmiten efectos alelopáticos como *Artemisia alba* L., *Salvia officinalis* L. , *Parthenium hysterophorus* L., *Eucalyptus* spp, *Brassica* spp, *Amaranthus* spp y el *Heliotropium* spp estos a través de la liberación de compuestos volátiles pueden afectar, la germinación de semillas y crecimiento de plántulas, en el caso de la *Salvia officinalis* L. afecta la germinación de *Lactuca sativa* L. y *Triticum* sp; las *Brassica juncea* L.; *Brassica napus* L. y *Brassica rapa* L., intervienen en la germinación de *Solanum lycopersicum* L., *Allium cepa* L. y *Daucus carota* L. *Amaranthus palmeri* L. perturba la germinación y crecimientos de plantas de cultivos; así como en el caso de *Eucalyptus* spp y *Heliotropium* spp estimula el crecimiento del *Raphanus sativus* L. y *Triticum* spp (Sampietro, 2005).

En Cuba se tiene el conocimiento de un grupo importante de plantas que presentan actividad biocida contra plagas en ensayos realizados (y Hernández *et al.*, 1999). La sensibilidad de varias especies de cultivos y malezas con residuos de raíces de cereal (*Apium graveolens* L.) incorporados al suelo, fue determinada en experimentos realizados en condiciones de laboratorio, donde se encontró que de las especies tratadas (*Amaranthus spinosus* L. y *Portulaca oleracea* L.), la que más se afectó fue *Amaranthus spinosus* L., mientras que en los cultivos el rábano (*Raphanus sativus* L.) fue el más sensible a los residuos del cereal.(Blanco, Y., 2006).

En la provincia de Cienfuegos se realizó un inventario sobre las plantas que tenían un efecto repelente o fitoplaguicida sobre los agentes nocivos que atacaban los cultivos en las diferentes manifestaciones de la Agricultura Urbana, donde resultaron 68 especies beneficiosas, entre ellas se encuentran malezas como *Petiveria alliacea*, L. (anamú), *Tephrosia cinerea* (L) Pers (añil), *Chenopodium ambrosioides* L (apasote), *Parthenium hysterophorus* L. (escoba amarga), *Dichrostachys cinerea* (L) Wight (marabú), *Lepidium virginium* L. (mastuerzo), *Solanum globiferum* Dunal (guirito espinoso) y *Solanum mammosum* L. (guirito de pasión) (Ortega *et al.*, 2009).

1.3.3 Efectos y sistemas alelopáticos en la agricultura.

Los aleloquímicos en los ecosistemas y agroecosistemas alteran el crecimiento normal de las plantas, acelerándolos o inhibiéndolos, incluyendo la germinación y el crecimiento de las plántulas.

Los residuos de plantas incorporados al suelo, ya sean dejados en la superficie o enterrados con la preparación mecánica del suelo, tienen más influencia que los efectos alelopáticos de las plantas vivas, sobre plantas cultivadas. No solamente las plantas arvenses sino también numerosas especies de plantas cultivadas tienen efectos alelopáticos (Arévalo, 2011).

Los cultivos de coberturas que se utilizan en agricultura sostenible para manejar malezas están basados, principalmente, en la alelopatía.

Para que se produzca un efecto alelopático, tanto de carácter positivo como negativo, de acción directa o indirecta, de una especie sobre otra a través de la producción de compuestos químicos que se escapan al medio ambiente, se requiere que la concentración de estas sustancias sean las suficientes para ejercer su acción. Además, la ocurrencia de todo efecto alelopático debe cumplir tres condiciones fundamentales:

1. Que exista suficiente cantidad del compuesto alelopático.
2. El aleloquímico debe estar en contacto directo e interactuar de alguna forma con una especie susceptible a éste.

3. La sustancia activa debe permanecer en contacto con la arvense susceptible por el tiempo necesario para ejercer su acción.

El conjunto de sustancias liberadas por la planta donadora es generalmente una mezcla de compuestos osmóticamente activos como azúcares, sales, aminoácidos, proteínas, polímeros, taninos y ligninas, los cuales son almacenados en estructuras vacuolares dentro del citoplasma (Narwal, 1996).

1.3.4 Naturaleza química de los agentes alelopáticos.

Las células vegetales son capaces de producir millones de moléculas diferentes, divididas en grupos según su función (Stryer, 2004).

1. Metabolitos Primarios: Son todas aquellas moléculas implicadas en la estructura y función de la célula, entre ellas están los glúcidos, lípidos, aminoácidos y ácidos nucleicos.

2. Metabolitos Secundarios: Son compuestos derivados de rutas secundarias más complejas del metabolismo celular. Se sintetizan a partir de moléculas intermediarias “bisagras” como el acetato y mevalonato.

Entre los grupos químicos de mayor relevancia por sus propiedades alelopáticas, se encuentran: fenoles y derivados del ácido benzoico, flavonoides y taninos, alcaloides, terpenoides y esteroides, glucósidos cianogenéticos, aminoácidos no proteicos, lactonas no saturadas, ácidos orgánicos, alcoholes alifáticos, aldehídos y cetonas, ácidos grasos y el complejos de quinonas (Arévalo, 2011).

Se llama metabolitos secundarios de las plantas a los compuestos químicos sintetizados por las plantas que cumplen funciones no esenciales en ellas, de forma que su ausencia no es fatal para la planta, ya que no intervienen en el metabolismo primario de las plantas. Los metabolitos secundarios de las plantas intervienen en las interacciones ecológicas entre la planta y su ambiente. También se diferencian de los metabolitos primarios en que cada uno de ellos tiene una distribución restringida en el Reino de las plantas, a veces a

sólo una especie o un grupo de ellas, por lo que muchos de ellos son útiles en Botánica Sistemática. (Nelson, 2004).

A diferencia de los herbicidas sintéticos, los aleloquímicos pueden tener múltiples sitios de acción. Por ejemplo, la sorgoleona (quinona) actúa inhibiendo la fotosíntesis; sin embargo, en otras plantas puede inhibir también la *p-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase* (HPPD), que interviene en la síntesis de *α-tocopherolplastoquinone* (Ferguson *et al.*, 2013; Soltys *et al.*, 2013; Mondal *et al.*, 2015). Otro ejemplo puede ser artemisin, de *Artemisia annua* L., el cual puede reducir el contenido de clorofila y el índice mitótico, pero puede indirectamente, al unirse a otro metabolito, reducir la actividad de la plastoquinona B y reducir así el flujo de electrones y la fotosíntesis (Bharati *et al.*, 2012).

1.3.5 Uso beneficioso de la alelopatía

Puede ser posible defender los cultivos contra insectos, nemátodos, malezas y ayudarlos a resistir contra las enfermedades a través del empleo de sustancias alelopáticas que funcionan como repelentes, antifecundantes, interruptores del crecimiento, antialimentarios de insectos y ácaros, tóxicos, antibióticos, insecticidas, fungistáticos, fungicidas y herbicidas, (Fatope ,1995).

En cuanto a las malezas, se lograría un buen control con sustancias que inhiban la germinación de sus semillas, afecten su crecimiento o impidan la producción de propágulos, pero todo eso se logra identificando primeramente las plantas de cultivo de mayor potencial alelopático (Putnam 1987) y se establezcan los cultivos en sistemas de rotación y asociación o se apliquen sus residuos o extractos en los suelos (Chung *et al.*, 1995).

En varios experimentos, Chung *et al.* (1995) evaluaron el potencial herbicida de la alfalfa (*Medicago sativa*) sobre las malezas, y llegaron a la conclusión de que por su gran efecto sobre muchas especies, dentro de las que se encuentra *Digitaria sanguinalis* L. y *Amaranthus* sp, los residuos de dicho cultivo pueden utilizarse como herbicida natural.

Las sustancias alelopáticas, sus análogos químicos y sus derivados, constituyen una fuente valiosa para sintetizar los herbicidas del futuro, especialmente para el control de malezas por medio de sustancias naturales menos dañinas al ambiente (Anaya, 1996; Macías *et al.*, 1998; 2000; Macías *et al.*, 2000).

Una posibilidad que vale la pena explorar es la de seleccionar cultivares con efectos alelopáticos que puedan regular el crecimiento de malezas que compiten con ellos; incorporar a plantas cultivadas la capacidad de producir sustancias alelopáticas, ya sea mediante cruzamientos o mediante el empleo de técnicas biotecnológicas (Putnam y Duke ,1974).

1.4 La paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido). Su efecto alelopático.

A escala mundial los subproductos azucareros, constituidos fundamentalmente por la paja y el cogollo, representan una disponibilidad de 5,5 MM TM (millones de toneladas métricas (Álvarez, 2003).

En Cuba, la biomasa obtenida como subproducto de la industria azucarera, constituye el mayor recurso desde todos los puntos de vista, ya que en una tonelada de caña fresca, aproximadamente, el 32 % es de bagazo integral y el 28 % de paja y cogollo de caña (Residuo Agrícola Cañero, RAC), los cuales son la biomasa más importante que se procesa (León *et al.*, 2013).

La paja es el resultado del secado de las hojas de la caña de azúcar, producto de los factores esenciales en el desarrollo de esta planta, el crecimiento y su maduración. El estimado de este residuo en el campo está conformado aproximadamente de un 15 a un 20 % del peso de la caña, de ahí que su volumen sea elevado (Domínguez, 2003)

La paja de caña es un agente beneficioso para el hombre, si se usa correctamente como fertilizante en los suelos o como capa cubriendo los mismos para evitar el crecimiento de malas hierbas en las áreas de producción de la caña de azúcar (Domínguez, 2003).

Un lecho de caña de azúcar puede liberar sustancias alelopáticas capaces de inhibir la germinación de las semillas de algunas especies presentes en el suelo (Rodrigues *et al.*, 1998). Aún proporciona un entorno favorable para el desarrollo de las poblaciones de invertebrados que pueden interferir con banco de semillas de malas hierbas del suelo (Vidal y Theisen 1999).

En las plantaciones agrícolas es común el cultivo de la cosecha principal en la paja que queda de la cosecha del cultivo anterior, debido al sistema de siembra directa. Esta paja

en el suelo puede tener influencia en el principal cultivo mediante la liberación de compuestos orgánicos que pueden tener alelopatía en las plantas (Spiassi, 2011).

El proceso de descomposición de la paja en la superficie del suelo libera gradualmente una serie de compuestos orgánicos denominados aleloquímicos que también pueden interferir directamente sobre la germinación y emergencia de la maleza, así como en la pérdida de viabilidad de las semillas (Pitelli y Durigan, 2001).

La paja de caña en bruto influye no sólo sobre la germinación y emergencia de las plántulas, sino también en la pérdida de viabilidad de las semillas de malas hierbas. (Correia, 2004).

El efecto físico de mantillo es muy importante en la regulación de la germinación y la supervivencia tasa de plántulas de algunas especies de malezas. Los efectos físicos de mantillo también reduce las posibilidades de supervivencia de las plántulas de malas hierbas con cantidad pequeña de las reservas en la diáspora (Pitelli y Durigan, 2001).

Los residuos de plantas incorporados al suelo, ya sean dejados en la superficie o enterrados con la preparación mecánica del suelo, tienen más influencia que los efectos alelopáticos de las plantas vivas, sobre plantas cultivadas (Gliessman, 2002; Ferreira y Aquila, 2000; Radosevich y Holt, 1984).

Existe un período crítico de 2 a 3 semanas después de la cosecha en verde de la caña de azúcar, especialmente si está cerca la época de lluvias, en el cual se debe evitar que los residuos de cosecha entren en contacto directo con las cepas de la caña, ya que el agua lixiviada por los residuos de cosecha tiene un efecto negativo sobre las yemas que se encuentran en las cepas de la caña de azúcar (Torres 1997; Crovetto 1992).

Capítulo 2: Materiales y métodos.

La investigación, se desarrolló en el laboratorio de Fisiología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias en la Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez en

colaboración con la Universidad Central de las Villas "Martha Abreu" en el periodo comprendido de enero a diciembre de 2016.

El material vegetal fue colectado en la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar en el municipio de Ranchuelo, provincia Villa Clara, en febrero de 2016, para el montaje de una investigación del tipo experimental se seleccionó la variedad C86-12 por ser líder en Cuba y una de la más plantada en la provincia de Cienfuegos (González et al., 2010), este se trasladó en saco de nylon, se seleccionó el material a utilizar en el experimento, donde prevalecieron los métodos de observación y medición.

2.1 Identificación de los metabolitos secundarios presentes en la paja de la caña de azúcar (*Saccharum spp. híbrido*).

La paja para la realización del tamizaje fitoquímico se colocó a la estufa a 30°C hasta lograr peso constante y quedar crujiente, posteriormente se pulverizó en molino de cuchillas (IKA, Chisty y Norris) y se pasó por un tamiz de 1 mm de diámetro, al polvo obtenido se le realizó el análisis químico para determinar la presencia de metabolitos secundario en la Facultad de Química- Farmacia de la Universidad Central de las Villa. Para ello, se partió de 5 gramos de material vegetal en polvo de la paja de la caña de azúcar y se realizó una extracción con 50 mL de éter etílico a temperatura ambiente, por maceración con agitación constante en una zaranda marca Thys 2 por 24 horas. Posteriormente se filtró con papel de filtro Whatman 1 obteniéndose el **extracto etéreo**.

El residuo vegetal se secó al aire libre y se extrajo con 50 mL de etanol a 98% siguiendo el procedimiento anterior y se filtró obteniéndose el **extracto etanólico**.

El residuo vegetal se volvió a secar al aire libre y extrajo nuevamente con 50 mL de agua destilada obteniéndose el **extrácto acuoso**.

Luego se tomaron alícuotas de 1 mL y se les aplicó la técnica de tamizaje fitoquímico establecida por Norma Ramal de Salud Pública 311/98 (MINSAP, 1998), según correspondiera de acuerdo al tipo de disolvente de extracción:

Extracto Etéreo: Ensayo de Dragendorff (Alcaloides), ensayo de Sudán III (Ácidos grasos), ensayo de Baljet (Cumarinas), ensayo de Liebermann- Burchard (Triterpenos y Esteroides).

Extracto Etanólico: Ensayo de Resinas (Resinas), ensayo de Espuma(Saponinas), ensayo de Dragendorff (Alcaloides), ensayo de Kedde (Glicósidos cardiotónicos), ensayo de Cloruro férrico (Fenoles y/o Taninos), ensayo de Shinoda (Flavonoides), ensayo de Liebermann-Burchard (Triterpenos y/o Esteroides), ensayo de Nihidrina (Aminoácidos libres), ensayo de Baljet (Cumarinas), ensayo de Fehling (Azúcares reductores), ensayo de Borntrager (Quinonas).

Extracto Acuoso: Ensayo de Espuma (Saponinas), ensayo de Shinoda (Flavonoides), ensayo de Nihidrina (Aminoácidos libres), ensayo de Fehling (Azúcares reductores), ensayo de Cloruro Férrico (fenoles y/o Taninos), ensayo de Enfriamiento (Mucílagos).

Los resultados se valoraron estableciendo varias categorías de acuerdo a la evidencia en las reacciones: (–) ausencia del metabolito, (+) presencia del metabolito en bajas concentraciones, (++) presencia del metabolito en concentraciones moderadas, (+++) presencia del metabolito en altas concentraciones. Se procedió a la identificación del tipo cualitativo, haciendo uso de reactivos de coloración y precipitación.

2.2 Ensayos de laboratorio

El experimento se realizó con igualdad de condiciones de luz y humedad, en recipientes homogéneos de ocho cm de diámetro superior, seis cm de diámetro inferior por 10 cm de alto con un volumen de 0.45 dm^{-3} del cual se aprovechó 0.4 dm^{-3} al utilizar como sustrato suelo estéril. El suelo se esterilizó a temperatura de 120°C y $1,5 \text{ atm}$ de presión por 30 minutos en una autoclave de acero inoxidable marca LDZY-50KAS, luego se mezclaron para buscar un sustrato homogéneo. Los pesajes de suelo y plantas se realizaron en una balanza mecánica marca OHAUS, verificada por la Oficina Territorial de Normalización de Cienfuegos.

Se utilizó un suelo que, según la clasificación de los suelos de Cuba, pertenece a el agrupamiento de suelo pardo sialítico, tipo genético pardo (P), subtipo pardo mullido, género pardo mullido carbonatado (Hernández, 2015).

Para la caracterización de este suelo se tomó en cuenta los datos de suelo aportados por Instituto de Suelos de Cienfuegos (Minagri, 2008).

El cual posee las siguientes características: está sobre caliza suave más arenisca calcárea, carbonatado; profundo, humificado, poco erosionado, arcilla loamosa, mediana graviliosidad. Profundidad efectiva 60 cm, casi llana.

Formado a partir de proceso de evolución Sialitización, la Materia Orgánica puede alcanzar valores entre 2 – 5 %, el pH de 5.8 por lo que es evaluado como ligeramente ácido. El drenaje tanto interno como externo es bueno. La clase textural es arcilla loamosa, con predominio del tipo arcilloso 2:1, por ello su Capacidad de Cambio Catiónico es de 25 – 55 cmol⁽⁺⁾.Kg⁻¹, considerada como ligeramente alta a alta, así como la fertilidad natural.

El trabajo experimental a realizar consistió en la utilización de seis dosis de paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) bajo condiciones controladas, para probar la influencia alelopática de la arvense rabo de gato (*Achyranthes aspera* var. *Indica* L. Para evaluar la influencia alelopática de la paja de caña sobre la germinación y crecimiento inicial sobre esta arvense, reportada en registros de enmalezamiento, y encontradas en pesquizajes hechos por el autor en campos de cañas, pero que no constituyen arvenses predominantes, se montó el experimento in vitro en recipientes con dimensiones antes mencionadas, en suelo estéril.

Para la selección de las dosis se tuvo en cuenta que la cantidad de paja en cañaverales cosechados sin quemar varía de 10 a 30 t.ha⁻¹. (Trivelin et. al. ,1996) y reportes de 14 t.ha⁻¹ realizados por (Bernardes et. al. ,2012), por lo que se asumirán producciones de paja de 15 t.ha⁻¹ ya corroborada por el autor en Cuba (11 t.ha⁻¹ -15 t.ha⁻¹), el 100% de la dosis a utilizar será de 1500 g.m⁻².

En el experimento el diseño fue completamente aleatorizado con seis tratamientos y cuatro repeticiones, las dosis a utilizar se correspondieron con la biomasa seca media por metro cuadrado, a una profundidad de 0.20 m, se colocaron en los recipientes 20 semillas de la especie en particular.

Los tratamientos a utilizar fueron los siguientes:

- Testigo 0% (0 gramos de paja por recipiente)
- Tratamiento uno 25% (0.75 gramos de paja por recipiente)
- Tratamiento dos 50% (1.50 gramos de paja por recipiente)

- Tratamiento tres 75% (2.50 gramos de paja por recipiente)
- Tratamiento cuatro 100% (3.00 gramos de paja por recipiente)
- Tratamiento cinco 125 % (3.75 gramos de paja por recipiente)

Para evaluar el efecto alelopático de los residuos de paja, se seleccionó ésta en el campo, se llevó al laboratorio y se troceó a un tamaño de hasta cinco milímetros luego se aplicó de forma manual al suelo estéril utilizado como sustrato en los recipientes, incorporándolo a una profundidad de cero a 10 centímetros.

Posteriormente se ubicaron en cada uno 20 semillas previamente calculado su porcentaje de germinación para un total de 120 semillas y se incubaron en cámara de germinación a una temperatura de $30.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ durante 16 horas de luz y $25.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ durante ocho horas. Se mantuvo la humedad aplicando agua destilada 3 a 6 ml diario por recipiente en dependencia de las necesidades hídricas y manteniendo el suelo a 80% de la capacidad de campo.

Se realizó el conteo de germinación periódicamente a los cinco y diez días, en dependencia del tiempo de germinación. Posteriormente a la germinación de la semilla se midió con una regla el tamaño del vástago y la radícula a los siete y diez días, aprovechando estos momentos para calcular porcentaje de masa seca (MS).

Para evaluar la cantidad de masa seca (MS), a los siete y diez días se tomaron 10 plantas completas o al menos que tenían hojas y tallos, se separaron sus órganos y se pesarán por separado y se anotó el peso (peso fresco de la muestra), se colocaron los órganos en una cápsula de porcelana y se ubicaron en la estufa a una temperatura de 100 grados durante una hora para matar los sistemas enzimáticos, pasado este tiempo se graduó la estufa a 70 grados, durante 72 horas hasta alcanzar un peso constante, se colocaron las muestras en cámara desecadora hasta refrescar, se pesaron las muestras secas y se anotó su valor, y se determinó el porcentaje de masa seca para cada muestra como sigue:

Porcentaje de masa seca = $\text{Peso seco de la muestra} \times 100 / \text{Peso fresco de la muestra}$
(Torres G. S., 2002).

Los datos obtenidos sobre porcentaje de germinación, masa seca, tamaño del vástago y la radícula se procesaron por análisis de varianza y las medias comparadas por Test de Tuckey ($P < 0.05$), utilizando el programa estadístico SPSS para Window versión 21.

Capítulo 3: Resultados y discusión.

3.1 Tamizaje fitoquímico realizado a la paja de la caña de azúcar (*Saccharum spp. híbrido*)

Al presentar y analizar los resultados se encontró en el extracto etéreo la presencia de ácidos grasos en bajas concentraciones, en este caso aparecieron pequeñas gotas de color rojo los cuales demuestran un resultado positivo al ensayo. Este metabolito detectado no se considera de interés para su uso como herbicidas (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados del tamizaje fitoquímico realizado en extracto etéreo

Material Vegetal	Metabolito	Ensayo realizado	Resultados
Paja de caña	Alcaloides	Dragendorff	-
	Ácidos grasos	Sudán III	+
	Cumarinas	Baljet	-
	Triterpenos y esteroides	Liebermann- Burchard	-

Se encontró en extracto etanólico la presencia de resinas, glicósidos cardiotónicos, fenoles y/o taninos, flavonoides, triterpenos y cumarinas (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados del tamizaje fitoquímico realizado en extracto etanólico

Material Vegetal	Metabolitos	Ensayo realizado	Resultados
Paja de caña	Resinas	Resinas	+
	Saponinas	Espuma	-
	Alcaloides	Dragendorff	-

Paja de caña	Glicósidos cardiotónicos	Kedde	+
	Fenoles y/o taninos	Cloruro férrico	+
	<i>Flavonoides</i>	Shinoda	+
	Triterpenos y/o esteroides	Liebermann- Burchard	+
	Aminoácidos libres	Nihidrina	-
	Cumarinas	Baljet	++
	Azúcares reductores	Fehling	-
	Quinonas	Borntrager	+

Se consideraron positiva la presencia de resina en bajas concentraciones por la aparición de una ligera turbidez, así como los glicósidos cardiotónicos por haber tomado una ligera coloración violácea y la aparición de un precipitado carmelita el cual se pudo comprobar que era soluble en agua.

Por su parte los fenoles y/o taninos también se detectaron en bajas concentraciones por la aparición de una coloración verde, propia de taninos del tipo pirocatecólicos.

En el caso de los flavonoides se visualizó una ligera coloración rosada por lo que también se consideró positivo en bajas concentraciones.

Aparentemente, las cumarinas y varios flavonoides tienen actividad antagónica contra el efecto inhibitorio del ABA y en ocasiones pueden llegar a estimular así, el crecimiento inducido por el ácido giberélico. La inhibición de crecimiento de plántulas de pepino debida al ácido ferúlico y otros compuestos fenólicos ha sido correlacionada con el incremento en los niveles de ácido abscísico (Blanco, 2006).

Los triterpenos y/o esteroides se detectaron en bajas concentraciones por la observación de dos fases:(Fase inferior rosado ligero a naranja y la fase superior amarillo pálida).

Algunos terpenoides son especialmente inhibidores de la fotosíntesis, como los diterpenos *labdane-8α* y *15-diol* aislados de *Croton clatoglanduliferus*, los que interfieren en la síntesis de ATP, interrumpiendo la transferencia de electrones desde el PS 680 (II) a la plastoquinona B. Con efectos similares, están los sesquiterpenos de hojas de *Celastrus vulcanicola* (Torres *et al.*, 2003).

Por otra parte, se detectaron cumarinas en concentraciones moderadas por la aparición de un precipitado carmelita abundante y se comprobó que este era soluble en agua.

Un sitio de acción importante de los aleloquímicos son las membranas celulares, donde pueden producir peroxidación de los lípidos y ruptura de estas. Tales efectos se han observado con la sarmentina, amida extraída de frutos de *Piper* spp., cumarinas, y fenoles simples como el ácido *p*-hidroxibenzóico.(Dayan *et al.*, 2015).

Otros resultados evidencian actividad de las cumarinas en el movimiento polar de la auxina en mutantes de *Arabidopsis thaliana* (Lupini *et al.*, 2014).

Las quinonas también se consideraron presentes en bajas concentraciones por aparecer una coloración rosada en la parte superior del tubo de ensayo.

En el extracto acuoso se encontró la presencia de saponinas, aminoácidos libres, flavonoides, azúcares reductores, fenoles y/o taninos (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados del tamizaje fitoquímico realizado en extracto acuoso.

Material Vegetal	Metabolitos	Ensayo realizado	Resultados
Paja de caña	Saponinas	Espuma	+
	Flavonoides	Shinoda	+
	Aminoácidos libres	Nihidrina	+++
	Azúcares reductores	Fehling	+

Fenoles y/o taninos	Cloruro férrico	+++
Mucílagos	Enfriamiento	-

La presencia de algunos metabolitos como saponinas, los flavonoides y azúcares reductores se consideraron positivas en bajas concentraciones, los primeros por la presencia de espuma en la superficie del líquido (de más de 2mm de espesor y persiste por más de 2 (min), los segundos por la aparición de una ligera coloración rosada y los terceros por que aparece una coloración verde posteriormente ocurre un precipitado rojo.

Sin embargo, los aminoácidos libres, así como los fenoles y/o taninos arrojaron estar presentes en altas concentraciones, los primeros por la aparición de una coloración violácea intensa y los segundos por la aparición de una coloración rojo vino.

Compuestos fenólicos como taninos, ácidos fenólicos (ferúlico, *p*-cumárico, vainílico) y cumarinas inhiben la acción de la giberelina en la germinación, al producir precipitación de hidrolasas, principalmente la α -amilasa y fosfatasas ácidas. Paralelamente, las cumarinas pueden reducir el crecimiento primario de la radícula en la germinación y bloquear los sitios de acción de giberelinas (Saleh *et al.*, 2014).

Los compuestos fenólicos, en particular, los flavonoides actúan en las AIA – oxidasas. Los monofenoles (ácidos *p*-hidroxibenzoico, vainílico, *p*-cumárico y siríngico) reducen la disponibilidad de AIA al promover su descarboxilación. En contraste, muchos difenoles y polifenoles (ácidos clorogénico, caféico, ferúlico y protocatéuico) inhiben las AIA– oxidasas y, por tanto, sinergizan el crecimiento inducido por AIA, suprimiendo la degradación de la hormona. Esto sugiere un control en los niveles de AIA a través de la enzima polifenoloxidasas (sintetiza polifenoles) que regula el balance entre monofenoles y polifenoles (Blanco, 2006).

La presencia en dos de los extractos de flavonoides y triterpenos y/o esteroides en uno indica que la paja de la caña de azúcar pudiera ser usada por su potencial alelopático en el control de arvenses.

Las cumarinas a pesar de haberse encontrado en un solo extracto (etanólico), y en concentraciones moderadas pudieran apoyar el empleo de la paja con el fin de controlar arvenses potenciando el efecto alelopático de los anteriores metabolitos.

Los fenoles y/o taninos pudieran tener efecto alelopático contra las arvenses por estar presentes o haberse detectado en dos extractos (etanólico y acuoso), en este último en altas concentraciones.

3.2 Efectos alelopático de la paja de la caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) sobre la germinación de *Achyranthes aspera* var. *Indica* L.

El efecto de los residuos de planta donadora no mostró diferencia significativa para la germinación de *Achyranthes aspera* var. *Indica* L. a los 5 días, mientras que a los 10 días a una dosis alta de 125% ejerció un efecto alelopático negativo evidente con una diferencia significativa en relación al testigo (Tabla 4).

Tabla 4. % Germinación de *Achyranthes aspera* var. *Indica* L. (Rabo de gato espinoso)

Tratamientos	Germinación a los 5 días(%)	Germinación a los 10 días(%)
Testigo	(0,28) ^a 8,75	(0,87) ^{bc} 68,75
25%	(0,37) ^a 15,00	(0,99) ^c 83,75
50%	(0,24) ^a 7,50	(0,78) ^{bc} 57,50
75%	(0,29) ^a 8,75	(0,73) ^{abc} 51,25
100%	(0,21) ^a 6,25	0,68 ^{ab} 45,00
125%	(0,22) ^a 5,00	(0,46) ^a 27,50
ET	0,22 NS	0,04 ***
CV	0,33264	0,83

a,b,c, Valores en las columna con diferentes superíndices difieren para $P < 0.05$ (Tukey) .

NS –no significativo

El resultado de germinación obtenido a los 5 días puede estar justificado por la falta de concentración de metabolitos liberados para ejercer su acción puesto que la descomposición de la paja es muy insipiente todavía.

Se constató que a los 10 días para el tercer tratamiento dado (75%), este no mostró diferencia con ninguno de los tratamientos empleados ni con el tiramiento que fungió como control.

Para el primer tratamiento dado (25%) se pudo apreciar un efecto alelopático positivo al incrementarse el porcentaje de germinación tanto a los cinco como a los diez días, pero no resultó ser significativo.

Existen trabajos que demuestran que durante la descomposición de los residuos agrícolas de cosechas, se liberan grandes cantidades de sustancias químicas, que tienen efecto alelopático sobre la germinación de semilla. En este sentido, Viator et al. (2006) y Sampietro et al. (2005b) obtuvieron resultados similares e identificaron diferentes compuestos alelopáticos en el residuo de la cosecha de la caña de azúcar.

3.3 Efectos alelopáticos de la paja de caña de azúcar sobre el crecimiento inicial de *Achyranthes aspera* var. *Indica* L.

En el análisis de varianza realizado al porcentaje de materia seca se apreció un efecto alelopático negativo en comparación con el testigo tanto a los siete como a los diez días (Tabla 5).

La respuesta alelopática inhibitoria sobre las arvenses varia en el tiempo con las diferentes especies donadoras y su durabilidad depende en primer lugar de la dosis de residuos aplicada, así como de la velocidad con que se descomponen los residuos y la acumulación de los aleloquímicos liberados en el suelo (Pavliuchenko *et al.*, 2014).

Tabla 5. % de Materia seca de *Achyranthes aspera* var. Indica L. (Rabo de gato espinoso)

Tratamientos	Materia seca a los 7 días(%)	Materia seca a los 10 días(%)
Testigo	(0,35) ^c 11,58	(0,40) ^{cd} 15,49
25%	(0,35) ^c 11,15	(0,45) ^c 18,74
50%	(0,28) ^b 7,69	(0,36) ^{bc} 12,30
75%	(0,26) ^{ab} 6,77	(0,31) ^{ab} 10,04
100%	(0,25) ^a 6,34	(0,28) ^{ab} 7,55
125%	(0,25) ^a 6,36	(0,28) ^a 7,49
ET	0,07918	0,14059
CV	0,13642	0,20274

a,b,c,d Valores en las columna con diferentes superíndices difieren para * P<0.05 (Tukey)

A los diez días se observó un efecto alelopático positivo con la dosis al 25%, pero no resultó ser significativo.

A los siete días se pudo apreciar que a partir del 50% la paja comienza a ejercer una acción alelopática negativa de manera significativa, mientras que a los diez días se apreció el efecto a partir de la dosis al 75%.

Los mejores resultados se presentaron para las dosis al 100 y 125 % respectivamente.

A partir de una dosis del 75% en comparación con el testigo se constató un efecto alelopático negativo en el crecimiento inicial de la longitud del vástago del rabo de *gato* (Tabla 6).

Tabla 6. Longitud del vástago de Rabo de gato espinoso (*Achyranthes aspera* var. Indica L.).

Tratamientos	Longitud del vástago a los 7 días(mm)	Longitud del vástago a los 10 días(mm)
Testigo	25.00 ^a	29.75 ^a
25%	26.25 ^a	28.50 ^a
50%	21.00 ^b	23.25 ^{ab}
75%	16.75 ^c	19.50 ^c
100%	15.50 ^c	19.25 ^c
125%	15.25 ^c	17.75 ^c
ET	0.339	1.24
CV	6.81	10.79

a,b,c Valores en las columna con diferentes superíndices difieren para * P<0.05 (Tukey)

A los siete días a una dosis de paja al 25% se apreció un efecto alelopático positivo en comparación con el testigo, pero este no resultó ser significativo. Sin embargo, al incrementar la dosis a partir de un 50 % se detectó un efecto negativo.

A los diez días el efecto alelopático negativo es evidente y significativo a partir de la dosis al 75% en comparación con el testigo, no encontrándose diferencia significativa entre tratamientos a partir de esta dosis.

El ANOVA realizado a los datos obtenidos sobre la longitud de la radícula demostró que la paja ejerció un efecto alelopático positivo tanto a los siete como a los diez días (Tabla 7).

Tabla 7. Longitud de la radícula de Rabo de gato espinoso (*Achyranthes aspera* var. Indica L.).

Tratamientos	Longitud de la radícula a los 7 días(%)	Longitud de la radícula a los 10 días(%)
Testigo	14.00 ^b	16.75 ^b
25%	20.00 ^a	23.25 ^{ab}

50%	20.00 ^a	21.00 ^{ab}
75%	21.00 ^a	24.25 ^a
100%	20.75 ^a	25.77 ^a
125%	19.00 ^a	19.75 ^{ab}
ET	0.65	1.65
CV	6.61	15.20

a,b Valores en las columna con diferentes superíndices difieren para * P<0.05 (Tukey)

A los siete días, todos los tratamientos empleados arrojaron diferencia significativa en comparación con el testigo, no evidenciándose diferencia entre ellos. Mientras que a los diez días se apreció diferencia significativa en comparación con el testigo solo para las dosis al 75 y 100%.

Otros investigadores han informado que con la incorporación de residuos de *Secale cereale* L., *Sorghum bicolor* (L.) Moench, *Brassica nigra* L., *Ipomoea tricolor* Cav. logran efectos inhibitorios significativos sobre varias especies de arvenses, controlando sus poblaciones en campos de cultivo (Jabran *et al.*, 2015).

Los efectos de los residuos en el suelo, perduran usualmente entre cuatro y nueve semanas, existiendo una relación directa entre el incremento de la dosis de residuos y el aumento de la inhibición de las arvenses (Alyousef e Ibrahim, 2014).

La investigación desarrollada demostró que la paja de caña puede utilizarse para el control de la arvense *A. áspera*, si se utilizan las dosis adecuadas.

Conclusiones.

- Se identificó mediante el tamizaje fitoquímico realizado a la paja de caña de azúcar la presencia de. cumarinas, fenoles y taninos como metabolitos secundarios con potencial herbicida.
- La paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) a una dosis de 125% ejerció a los 10 días un efecto alelopático negativo significativo sobre la germinación de (*Achyranthes aspera* var. Indica L.) bajo condiciones controladas.
- La paja de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) ejerció un efecto alelopático negativo sobre crecimiento inicial de (*Achyranthes aspera* var. Indica L.) bajo condiciones controladas, resultando las mejores dosis por encima del 75%.

Recomendaciones.

-Utilizar dosis de 75% de paja de caña para el control de (*Achyranthes aspera* var. Indica L.), para la cual se obtuvieron los mejores resultados en el estudio realizado.

-Evaluar el efecto alelopático de la paja de caña de azúcar para el control de diferentes especies de arvenses en condiciones de laboratorio y campo.

Bibliografías

- AGREVO. (2008). Venezuela Servicios Cultivos la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), tiene su origen en Nueva Guinea, y en la última década representó uno de los cultivos. Recuperado de: http://www.reshet.net/agrevo/02b08_cont.html.
- Aguilar, (2011). *Programas de apoyo a la gestión descentralizada de los recursos naturales*. Quito, Ecuador: Editorial Andinagraph.
- Almeida. (1985). Plantio direto. In: Fundação instituto agrônômico do Paraná (Londrina, PR). *Guía de herbicidas: contribuição para o uso adequado em plantio direto e convencional*. Londrina.
- Altieri, M. (1995). *Agroecología. Bases Científicas para una Agricultura Sustentable*. Golden Horn Press, Berkeley, 281
- Alyousef, A., y Ibrahim, G.H. (2014). Inhibitory effect of fruit hull and leaves of pistachio on weed growth in pots. *International Journal of Pharm Tech Research*, 7(2), 365-369.
- Anaya. (1997). Allelopathy potencial of *Mirabilis jalapa* L. (Nyctaginaceae): Effects on germination, growth on cell division of some plants. *Allelopathy Journal*, 4(1), 57-68.
- Arevalo, R., Cerrizuela, C. y Olea, I. (1997). Competencia de malezas específicas entre caña de azúcar y *Sorghun halepense*. *Revista Agronomía*, 14(3), 951.
- Arévalo, R.A., Guirado, N y Chaila, S. (2003). Arquitectura del esqueleto lignificado del cuerpo de la planta de *Rottboellia exaltata*. In: 16 Congreso Latinoamericano de Malezas y 24 Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de la Ciencia de la Maleza. Manzanillo, México.
- Bárcenas, M. Narváez, C. (2013). *I unidad: Introducción a las ciencias de la maleza: Concepto de maleza. Importancia de las malezas: Impacto factores negativos y positivos de las malezas*. León, Nicaragua.
- Bhadoria, P.B.S. (2011). Allelopathy: A natural way towards weed management. *American Journal of Experimental Agriculture*, 1(1), 7-20.

- Bharati, A., Kar, M., y Sabat, S.C. (2012). Artemisinin inhibits chloroplast electron transport activity: mode of action. *Plos One*, 7(6), 942.
- Blanco Y. y Leyva A. (2010). Abundancia y diversidad de especies de arvenses en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) precedido por un barbecho transitorio después de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Cultivos Tropicales*, 31 (2), 12,16.
- Blanco, Y. (2006). La utilización de la aleopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas. *Cultivos Tropicales*, 27(3), 5-16.
- Burguer, W.C. (1983). Amaranthaceae. Flora Costaricensis. *Fieldiana Botany*, 13 pp-142-180.
- Chengxu, W., Mingxing, Z., Xuhui, C., y Bo, Q. (2011). Review on allelopathy of exotic invasive plants. *Procedia Engineering*, 18, 240-246.
- Cuellar, I.; M. de León, A. Gómez, Dolores Piñón, R. Villegas e Ignacio Santana. (2003) Caña de azúcar paradigma de sostenibilidad: Publica.
- Culpeper N. 1633. Culpeper's english physician and complete herbal. London: *Foulsham*
- Dayan, F.E., Owens, D.K., Watson, S.B., Asolkar, R., y Boddy, L. (2015). Sarmentine, a natural herbicide from Piper species with multiple herbicide mechanisms of action. *Frontiers in Plant Science*,(6), 222-259.
- Delegación Territorial de la Agricultura, Vicepresidencia de Distribución, (2013). *Informe de la situación actual del suelo*. Cienfuegos, Cuba: MINAGRI
- Díaz-Casas, F. (1996). Manejo integrado de malezas en caña de azúcar. *Rev. Cuba y Caña*. Cuba.
- Domínguez, E.J.M. y Reyes C. R. (2003). "La paja de caña. Forma atenuar su impacto ecológico." *Rev. Tecnología química*. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente, 23 (3), 1-47.
- Duke, S.O; Dayan, F. E, Rimando, A. M; Schrader, K. K. Aliotta, Oliva. G y Romagni, J.G. (2002). Chemicals from nature for weed management. *Weed Sci*. 50, 138 – 151Cuba., 71(1)

- Einhellig, FA. (1996). Interactions involving allelopathy in cropping systems. *Agron. J.* 88, 0886-893.
- FAO. (2012). Manejo de malezas para países en desarrollo Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/T1147S/T1147S0.htm> .Acceso .
- Farooq, M., Jabran, K., Cheema, Z.A., Wahid, A., y Siddique, K.H.M. (2011). The role of allelopathy in agricultural pest management. *Pest management science*, 67(5), 493-506.
- Fatope. MO, 1995. Phytocompounds: their bioassay and diversity. *Discov. Innov*, 229-236.
- Fenández, M., Sillero, J. C., y Rubiales, D. (2007). Intercropping with cereals reduces infection by *Orobanche crenata* in legumes. *Crop protection*, (8), 1166-1172.
- Ferguson, J.J., Rathinasabapathi, B., y Chase, C.A. (2013). Allelopathy: How plants suppress other plants. Recuperado de <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/H/HS18600.pdf>.
- Fernández Q. C. y Saavedra M. (1991). Malas hierbas. Conceptos. En: Fundamentos sobre Malas hierbas y herbicidas. *Mundi-Prensa*, Madrid, España 27-48, 348.
- Fernández, C.L. (2010). *Efecto del genotipo y la fertilización en las afectaciones causadas por hongos del suelo en el cultivo del frijol común*. (Tesis de Diploma). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara. Villa Clara.
- Ferreira, A. G. y Aquila, M. E. A. (2000). "Alelopatia: Uma área emergente da ecofisiologia." *Rev. Bras. Fisiol. Veg*, (12), 175-204.
- Ferreira, A.G. y Aquila, M.E.A. (2000). Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 175-204.
- García C R. (2005 b). *Utilización del potencial alelopático del maíz (Zea maíz Lin) como alternativa no contaminante para el combate de maleza*. (Tesis de Maestría). Instituto de Investigaciones, La Habana.
- García, N.B. (2014). *Selección de cepas de actinomicetos para el control de Rhizoctonia solani Kühn, Sclerotium rolfsii Sacc., Macrophomina phaseolina (Tassi) Goid. y Sclerotinia sclerotiorum (Lib.) de Bary, en frijol común (Phaseolus vulgaris L.)*. (Tesis

de Diploma). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara. Villa Clara.

García-Mateos, R., L. Aguilar-Santelisis, M. Soto-Hernández, R. Nieto-Angel, and G. Kite. (2012). Total phenolic compounds, flavonoids and antioxidant activity in the flowers of *Crataegus* spp. from México. *Agrociencia*, (46), 651-662.

Gnanavel, I. (2015). Eco-friendly weed control options for sustainable agriculture. *Science International*, 3(2), 37-47.

González, N. (2012). *Enfermedades fúngicas del maní (Arachis hipogaea L.) en época lluviosa, en la localidad Vueltas*. (Tesis de Grado). UCLV, Santa Clara, Villa Clara.

Haroun, N.E. (2015). Bioherbicide activity of *Curvularia lunata* on common cocklebur (*Xanthium strumarium* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(2), 623-631.

Heap, I. (2013). The international survey of herbicide resistant weeds. Recuperado de <http://www.weedscience.org>.

Hernández, A; Pérez J.M.; Bosch D; Castro N. (2015). *Clasificación de los suelos de Cuba* La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.

Hernandez, L. R., C.A. Catalán N., and P. Joseph-Nathan. (1998). The chemistry of the genus *Stevia* (Asteraceae). *Rev. Acad. Colomb. Cien.* (22), 229-279.

Jabran, K., Mahajan, G., Sardana, V., y Chauhan, B.S. (2015). Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*, (72), 57-65.

Kropff, M. J.; H. Walters. (2000). «EWRS and the Challenges for Weed Research at the Start of a New Millennium», *Weed Res*, 40 (1), 7-10.

Laborda, R. (2008). *Apuntes de Protección de cultivos*. España: Universidad Politécnica de Valencia.

Labrada, R., Caseley, J.C. y Paker, C. (1996). *Manejo de Malezas para países en desarrollo Estudio FAO producción y protección vegetal*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

- Lehninger, A. (2016). *Principios de Bioquímica*. La Habana: Pueblo y Educación
- León M. T.; Dopico R. D.; Triana H. O. y Medina E. M (2013). "Paja de la caña de azúcar. Sus usos en la actualidad". *ICIDCA*, 47 (2), 13-22.
- Lupini, A., Araniti, F., Sunseri, F., y Abenavoli, M.R. (2014). Coumarin interacts with auxin polar transport to modify root system architecture in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Growth Regulation*, 74(1), 23-31.
- Macías, F. A., Castellano, D. y Molinillo J. M. G. (2000), *J. Agric. Food Chem*, (48), 2512-2521.
- Macías, F.A. (1995). Allelopathy in the search for natural herbicide models. *ACS Symposium Series* 582, 310-329.
- Madhu, (2011). Biochemical events involved in downy mildew disease resistance in pearl millet in relation to H-ATPase. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 44 (1), 17-27.
- MINSAP (1998). *Norma Ramal de Salud Pública 311/98. Medicamentos de origen vegetal: Extractos fluidos y tinturas. Procesos tecnológicos*. La Habana, Cuba: MINSAP.
- Mondal, Md.F., Asaduzzaman, Md., y Asao, T. (2015). Adverse effects of allelopathy from legume crops and its possible avoidance. *American Journal of Plant Sciences*, 6(6), 804-810.
- Nelson, E. (2004). Biology, Ecology and Allelopathy. *Ecology Journal*. Recuperado de: http://www.bioworks.net/biocontro/control_325.htm
- Oliveira, L.G.A., Almeida, M.S., Aguiar, E.B., y Filho, S.A.V. (2011). Alelopatía de *Emilia sonchifolia*(L.) Dc. (Asteraceae) na Germinação e crescimento inicial de sorgo, pepino e picão preto. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia.
- Oliveros, A., Macías, F., Carrera, C., y Marín, D. (2009). *Exudados de la raíz y su relevancia actual en las interacciones alelopáticas*. Venezuela: Universidad de Los Andes, Mérida.

- Oliveros-Bastidas, A. (2008). El fenómeno alelopático. El concepto, las estrategias de estudio y su aplicación en la búsqueda de herbicidas naturales. *Revista Química Viva*, 1, 2-34.
- Ortega I., Catellanos L., Jiménez R., Rivero T., Armas D., González M., Leòn C., Pérez V., Martín C., Suárez J., Muñoz D., González I., Martínez F., y Fernández A. (2009). Distribución y conservación de las plantas repelentes y/o fitoplaguicidas de la agricultura urbana en la provincia de Cienfuegos. Premio Científico *CITMA* de Cienfuegos.
- Paredes, E. (2010). *Manejo de Malezas en finca de la agricultura suburbana conferencia en el Curso-taller Nacional "Manejo agroecológico de plagas en la agricultura suburbana". Programa de Agricultura Urbana y Suburbana*. La Habana, Cuba: Ministerio de la Agricultura. INISAV-CNSV.
- Pavliuchenko, N.A., Macias, F.A., y Igartuburu J.M. (2014). Poster 7. Allelochemicals from decaying lilac (*Syringa vulgaris* L.) residues: physiological and biochemical analysis. In: Reigosa, M.R., y Sánchez, A. (Eds). *7th World Congress on Allelopathy*. Vigo, España: International Allelopathy Society.
- Pérez, E; Paredes, E y García, R. (2000). *Manejo integrado de malezas Curso CISA V*. La Habana, Cuba: Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal
- Pérez, N. y L. Vázquez. (2001). Manejo ecológico de plagas. En: *Transformando el campo cubano. Avances de la Agricultura Sostenible*. La Habana. Cuba: ACTAF
- Pitelli R., y Durigan J.C. (2001). Ecología das plantas daninhas no sistema de plantio direto. In: Rossello, R.D. *Siembra directa en el Cono Sur*. (203-210). Montevideo, Uruguay: *PROCISUR*.
- Procópio, S.O. (2003). Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. Viçosa, España: Universidade Federal de Viçosa.
- Rice, E.L. (1974). *Allelopathy*. New York, E. U: Academic Press Inc.
- Rodrigues, B.N., Lima, J., Yada, I.F.V., y Fornarolli, D.A. (1998). Influência da cobertura morta no comportamento do herbicida trifluralin. *Planta Daninha*, 163-173.
- Rodríguez, B. N.; Almeida, F. S. (1998). Guía de herbicidas. (4.ed). Londrina: Edição

- Rodríguez, L. y Díaz, J. C. (2012) Programa de control integral de malezas en caña de azúcar. La Habana, Cuba: Editorial INICA.
- Saleh, A.M., Madany, M.M., y González, L. (2014). The effect of coumarin application on early growth and some physiological parameters in faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Plant Growth Regulation*, 34(2),233-241.
- Sampietro, A. (2005). Alelopatía: Concepto, características, metodología de estudio e importancia. Cátedra de Fitoquímica. Argentina: Instituto de Estudios Vegetales
- Sampietro, D.A., y Vattuone, M.A. (2005b). Plant growth inhibitors isolated from sugarcane (*Saccharum officinarum*) straw. *J. Plant Physiol*, 163, 837–846.
- Shou, Y. H. y Yu, J. Q. (2006). Allelochemicals and photosynthesis.” En: Reigosa, M. J., Pedrol, N., González, L. Allelopathy: a physiological process with ecological implications. *Netherlands. Springer*, 127-139.
- Singh, H.P., Kaur S., Batish D.R., y Ravinder, K.K. (2014). Ferulic acid impairs rhizogenesis and root growth, and alters associated biochemical changes in mung bean (*Vigna radiata*) hypocotyls. *Journal of Plant Interactions*, 9 (1), 267-274.
- Soltys, D., Krasuska, U., Bogatek, R., y Gniazdowska, A. (2013). Allelochemicals as Bioherbicides - Present and Perspectives. *Herbicides - Current Research and Case Studies in Use (20)*, 517-452
- Spiassi A., Teixeira F. A. M., Ceri P. D, Senem J., y Tomazoni D. (2011). Alelopatia de palhadas de coberturas de inverno sobre o crescimento inicial de milho. Rev. Comunicações científicas. *Ciências Agrárias*, Londrina, 32(2), 577-582.
- Stryer, L. (2004). Biochemistry. New York: Freeman and Company
- Suzuki T, Usui, I., Tomita-Yokotani K.Y., Kono S., Tsubura, H.,y Miki, Y.(2001). Effect of acid extracts of tomato (*Daucus carota* L.) wastes from the food industry on the growth of some crops and weeds. *Weed Biol. Manag*, 226-30.
- Tamaki,Z., Zhang, K., Fujimori, M., Akiyama, T. Harada, N., Miura, y Yamazoe Grain-Size, N.(1994) Effects in Tungsten Oxide-Based Sensor for Nitrogen Oxides *J. Electrochem.* 141(8), 2207-2210.

- Torres, D. (2003). Efecto alelopático del boniato (*Ipomoea batatas*) L. (Lam.), sobre la germinación y crecimiento de cultivos y malezas. *Centro Agrícola*, 30 (1), 385-401
- Torres, D., King, B., Jiménez, I.A., Lotina, B., y Bazzocchi, I.L. (2008). Sesquiterpenes from *Celastrus vulcanicola* as photosynthetic inhibitors. *Journal of Natural Products*, 71(8), 1331-1335.
- Van, H. (2013). A general view of weeds in lowland rice and up-land crops in the south of Vietnam. In: Jirasuthas, D., Milne, M., Suwannamek, U., Suwanmankha, *Proceedings of The 4th Tropical Weed Science*, 74.
- Viator, R.P., Johnson, R.M., Grimm, C.C. y Richard, E.P. J. R. (2006). Allelopathic, autotoxic, and hormetic effects of postharvest sugarcane residue. *Agron*, 98, 1526-1531.
- Vyvyan, J.R. (2002). Allelochemicals as leads for new herbicides and agrochemicals. *Tetrahedron*, 782X*Ecol. Austral*, 58.
- Weidenhamer, J.D. (1996). Distinguishing resource competition and chemical interference: overcoming the methodological impasse. *Conference*. Weed Science Society of Thailand and Department of Agriculture. Chiang Mai, Thailand: Ministry of Agriculture and Cooperatives.
- Weidenhamer, J.D. (1996). Distinguishing resource competition and chemical interference: overcoming the methodological impasse. *Agron. J*, 88, 866-875
- Weston, L.A. (1996). Utilization of allelopathy for weed management in agroecosystems. *Agron. J*, 88, 860-866.
- Xavier, F y Sans, S. (2012). Biología, Ecología y control de malas hierbas. (Tesis de Maestría). Universidad Central de Barcelona, Departamento de Biología Vegetal
- Xuan, T.D., Tsuzuki, E., Uematsu, H., y Terao, H. (2002). Effect of alfalfa (*Medicago sativa* L.) pellets on weed control in rice. *Allelopathy Journal*, 9(2), 195-203.
- Zamorano, Carolina, M. (2006). Alelopatía: Un nuevo reto en la Ciencia de las arvenses en el trópico. *Agronomía Colombiana*, 14 (1), 7-15.

Anexos.

Anexo 1. Semillas de ***A.aspera***.



Anexo 2. Pesaje de la pajar de caña de azúcar.



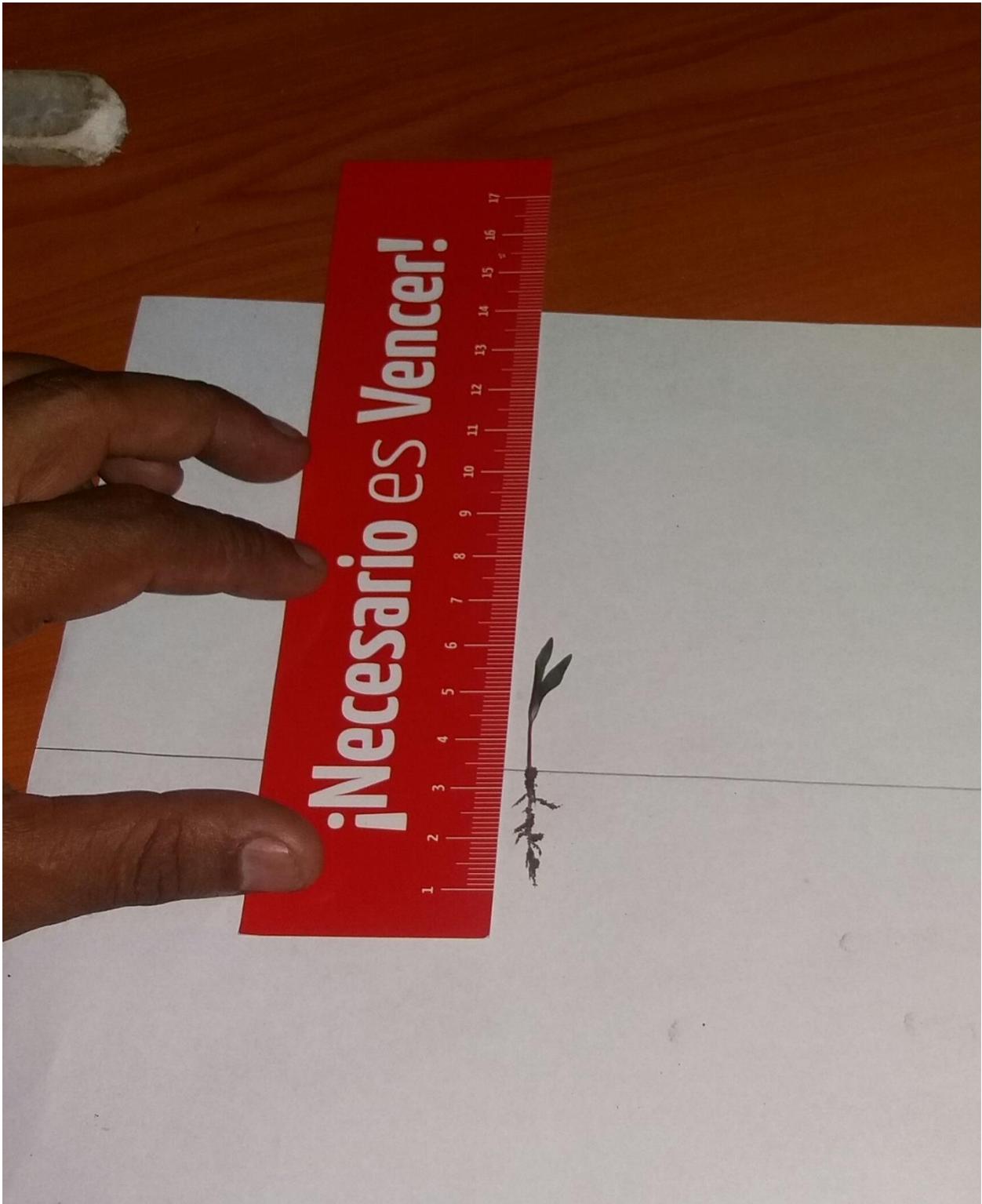
Anexo 3. El experimento.



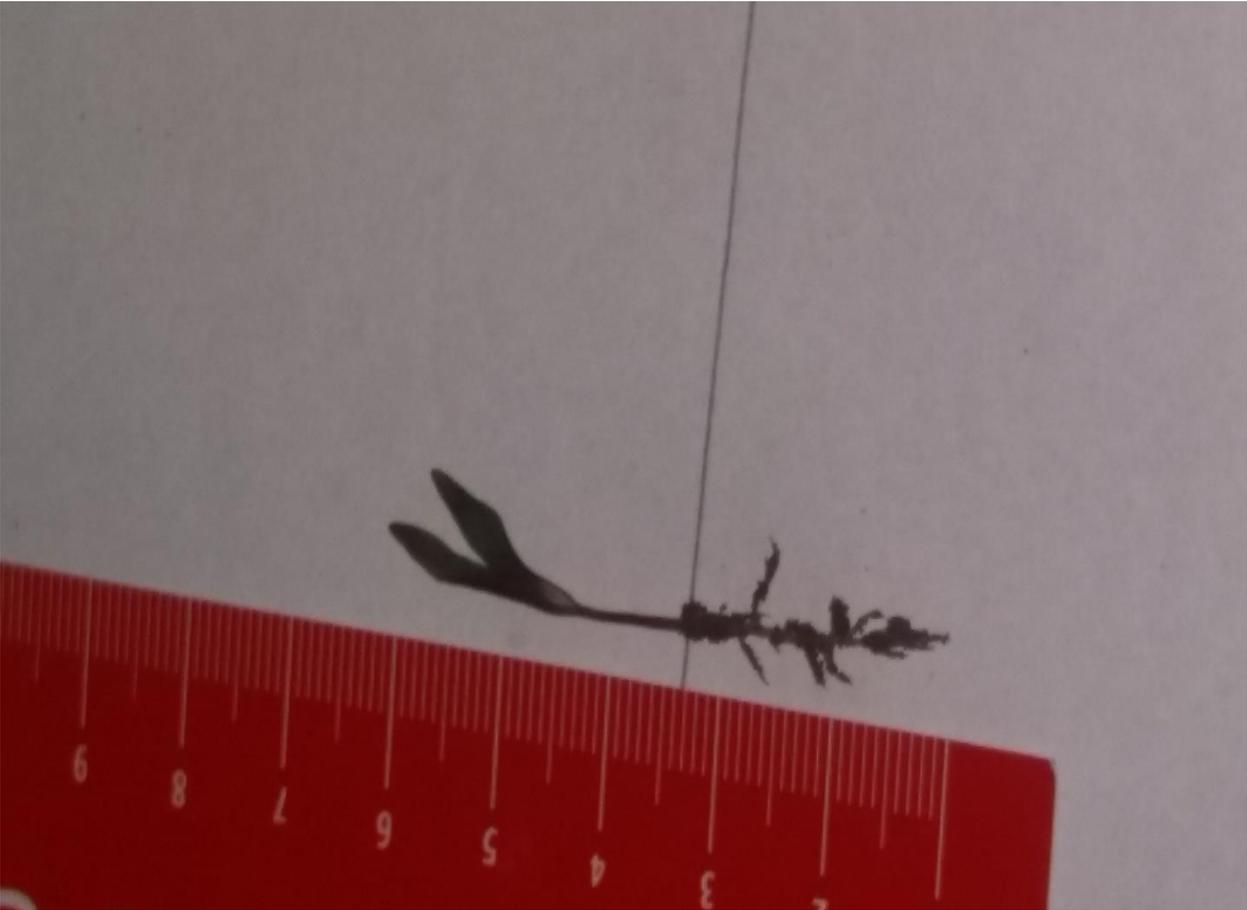
Anexo 4. Le germinación de *A.aspera*.



Anexo 5. Medición de la longitud del vástago.



Anexo 6. Medición de la longitud de la radícula.



Anexo 7. Materiales de ensayos.

