

INHIBIDORES DE GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE MALEZA Y HORTALIZAS, EN RESIDUOS DE AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus* L.)

WEED AND VEGETABLE GERMINATION AND GROWTH INHIBITORS IN AMARANTH (*Amaranthus hypochondriacus* L.) RESIDUES

Olga Tejeda-Sartorius^{1*} y María T. Rodríguez-González²

¹Campus San Luis Potosí. San Luis Potosí. (olgats@colpos.mx). ²Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Carretera México-Texcoco. Montecillo, Estado de México. (mate@colpos.mx)

RESUMEN

Los residuos vegetales pueden tener efecto alelopático sobre ciertas especies de maleza, fenómeno que puede usarse para su control, pero también pueden influir en la germinación, el crecimiento y el rendimiento de los cultivos. Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) evaluar el efecto del extracto acuoso del residuo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L. var. Azteca) en la germinación y el crecimiento de *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv., rábano (*Raphanus sativus* L. var. Champion), cebolla (*Allium cepa* L.) y zanahoria (*Daucus carota* L. var. Nantes); 2) analizar el potencial inhibitorio de extractos orgánicos del residuo de amaranto en la germinación y el crecimiento de *A. hybridus* L. y *E. crus-galli*. Se realizaron dos pruebas biológicas. Para la primera se prepararon extractos acuosos en proporción 1:2.5 (v/v) residuo de amaranto:agua. Los tratamientos fueron diferentes concentraciones de fenólicos totales del extracto. Para la segunda prueba se prepararon extractos orgánicos en equipo Soxhlet, utilizando solventes de polaridad creciente (hexano, diclorometano y metanol). El extracto derivado del uso de cada solvente fue un tratamiento de prueba. Las concentraciones más altas de fenólicos totales (108 y 54 ppm) inhibieron la germinación de *E. crus-galli* y rábano (57 y 56%); el crecimiento de radícula (de 51 a 76%) y vástago (de 47 a 86%) de las especies usadas. Los extractos orgánicos retrasaron la germinación. La fracción diclorometánica inhibió el crecimiento de radícula (34%) y vástago (66%) de *A. hybridus*. Las tres fracciones orgánicas inhibieron (25% en promedio) el crecimiento de radícula de *E. crus-galli*; la fracción metanólica disminuyó el crecimiento del vástago (31%). Se concluye que el residuo seco de amaranto posee sustancias inhibitorias de la germinación o el crecimiento de *Echinochloa crus-galli*, rábano, cebolla y zanahoria. Los extractos acuosos y orgánicos afectan diferencialmente las especies analizadas.

Palabras clave: *Amaranthus hypochondriacus* L., *Amaranthus hybridus* L., *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv., alelopatía.

ABSTRACT

Plant residues can have an allelopathic effect on certain weed species, a phenomenon that can be used for their control, but they can also affect crop germination, growth and yield. The objectives of this study were: 1) to evaluate the effect of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) residue aqueous extract on germination and growth of *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv., radish (*Raphanus sativus* L. var. Champion) onion (*Allium cepa* L.) and carrot (*Daucus carota* L. var. Nantes); 2) analyze the inhibitory potential of organic extracts from *A. hypochondriacus* amaranth residues on germination and growth of *A. hybridus* L. and *E. crus-galli*. Two biological tests were conducted. For the first, aqueous extracts were prepared in a ratio of 1:2.5 (v/v) amaranth residue:water. The treatments were different concentrations of total phenols phenolic of the extracts. For the second bioassay, organic extracts were prepared in Soxhlet equipment using solvents of increasing polarity (hexane, dichloromethane, and methanol). The extract derived from each solvent was one test treatment. The highest concentrations of total phenolics (108 and 54 ppm) inhibited germination of *E. crus-galli* and radish (57 and 56%), and radicle (51 to 76%) and shoot (47 to 86%) growth of the species tested. The organic extracts delayed germination. The dichloromethane fraction inhibited *A. hybridus* radicle (34%) and shoot (66%) growth. The three organic fractions inhibited *E. crus-galli* radicle growth (25% on average), while the methanol fraction decreased shoot growth (31%). It is concluded that dry amaranth residues possess substances that inhibit germination or growth of *Echinochloa crus-galli*, radish, onion and carrot. The aqueous and organic extracts affect the analyzed species differentially.

Key words: *Amaranthus hypochondriacus* L., *Amaranthus hybridus* L., *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv., allelopathy.

INTRODUCTION

Cultivation of Amaranth crop is reemerging because of the high protein content in its grains and its nutritive quality as a vegetable (Stallknecht and Schulz-Schaeffer, 1993). *Amaranthus*

*Autor responsable

Recibido: Febrero, 2007. Aprobado: Marzo, 2008.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 42: 415-423. 2008.

INTRODUCCIÓN

El cultivo del amaranto está resurgiendo debido al alto contenido de proteína en sus granos y a su calidad nutritiva como verdura (Stallknecht y Schulz-Schaeffer, 1993). *Amaranthus hypochondriacus* (originario de México y Guatemala) es la especie más extendida e importante de los amarantos productores de grano (Sánchez, 1980). Se ha reportado la importancia potencial de este cultivo para el control de maleza debido al efecto inhibitorio de sus residuos (Connick *et al.*, 1987; Connick *et al.*, 1989; Tejeda-Sartorius *et al.*, 2004). La toxicidad de los residuos de diferentes cultivos impide el crecimiento de maleza y puede ser evidencia de actividad alelopática (Weston, 1996).

El fenómeno de alelopatía, propuesto como una posible alternativa para el control de maleza (Putnam y Duke, 1978; Rice, 1984; Putnam, 1985), se define como el efecto de una planta (incluyendo microorganismos) en el crecimiento de otra, mediante la liberación de compuestos químicos al ambiente. Esta definición incluye efectos positivos y negativos (Rice, 1984). El estudio de la alelopatía es muy importante para producir herbicidas más eficaces, selectivos y ambientalmente seguros (Duke, 1986; 1990).

Debido a la escasez de trabajos con *A. hypochondriacus* en México, en cuanto a su actividad inhibitoria o alelopática, se investigó dicho tipo de actividad mediante pruebas biológicas en laboratorio. Según Foy (1999), éste es el primer paso para investigar la probable participación de la alelopatía.

Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) evaluar el efecto del extracto acuoso del residuo de amaranto en la germinación y el crecimiento de *E. crus-galli*, rábano, cebolla y zanahoria; 2) analizar el potencial inhibitorio del residuo de amaranto por medio de extractos orgánicos en la germinación y el crecimiento de *A. hybridus* y *E. crus-galli*.

La hipótesis fue que los extractos acuosos y orgánicos de *A. hypochondriacus* inhiben la germinación y el crecimiento de las especies en estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se usaron tallos secos del residuo de amaranto (*A. hypochondriacus* L. var. Azteca), cosecha 2002, proporcionado por el Área de Ecofisiología de cultivos del Colegio de Postgraduados (Montecillo, México). El material se secó en invernadero, se molió (molino Standard Model No. 3, Wiley Mill) a un tamaño de 2 mm diámetro y se almacenó en bolsas de plástico conservadas a temperatura ambiente.

hypochondriacus (native of México and Guatemala) is the most wide-spread and important of the grain-producing amaranths (Sánchez, 1980). The potential importance of this crop for weed control has been reported because of the inhibiting effect of its residues (Connick *et al.*, 1987; Connick *et al.*, 1989; Tejeda-Sartorius *et al.*, 2004). The toxicity of the residues of different crops impeding weed growth may be evidence of allelopathic activity (Weston, 1996).

The phenomenon of allelopathy was proposed as a possible alternative for weed control (Putnam and Duke, 1978; Rice, 1984; Putnam, 1985) and is defined as the effect of one plant (including microorganisms) on the growth of another by liberating chemical compounds into the environment. This definition includes positive and negative effects (Rice, 1984). The study of allelopathy is very important to produce of more effective, selective and environmentally safe herbicides (Duke, 1986, 1990).

Because of the scarcity of studies in México on the inhibitory, or allelopathic, activity of *A. hypochondriacus*, this research studied this type of activity through bioassays in the laboratory. According to Foy (1999), this is the first step in investigating the probable participation activity of allelopathy.

The objectives of the study were 1) to evaluate the effect of aqueous extract from amaranth residue on the germination and growth of *Echinochloa crus-galli*, radish, onion, and carrot; 2) to analyze the inhibitory potential of *A. hypochondriacus* amaranth residue by means of organic extracts on germination and growth of *A. hybridus* and *E. crus-galli*.

The hypothesis was that the aqueous and organic extracts of *A. hypochondriacus* inhibit germination and growth of the species under study.

MATERIALS AND METHODS

Plant material

Dry stems of amaranth (*A. hypochondriacus* L. var. Azteca) crop residues, 2002 harvest, were provided by the Area of Crop Ecophysiology of the Colegio de Postgraduados (Montecillo, México). The material was dried in the greenhouse, ground (Standard Model No. 3, Wiley Mill) particles 2 mm in diameter, and later stored in plastic bags and kept at room temperature.

Aqueous extracts

The aqueous extract was prepared by mixing the residue with distilled water at a ratio of 1:2.5 (v/v). This was shaken for 30 h in a mechanical shaker (Ikalabortechnik K259 Basic) and vacuum filtered.

Extractos acuosos

El extracto acuoso se preparó mezclando el residuo con agua destilada en proporción 1:2.5 (v/v), se agitó 30 h en un agitador mecánico (Ikalabortechnik K250 Basic), y se filtró con vacío.

Extractos con solventes orgánicos

Se realizó en equipo Soxhlet, usando 30 g del residuo de amaranto, colocado en cartuchos de papel filtro Whatman #1. Se usaron solventes de polaridad creciente: hexano, diclorometano y metanol (MERCK, KGaA). En cada extracción se usaron 300 mL de cada solvente y los extractos finales se concentraron en un rota-evaporador (BÜCHI R-124). El tiempo de extracción varió para cada solvente.

Tratamientos

Se realizaron dos pruebas biológicas. En la primera se evaluó el efecto del extracto acuoso del residuo de amaranto a diferentes concentraciones (ppm) de fenólicos totales (tratamientos; Tejeda-Sartorius *et al.*, 2004): 108 (concentración inicial del extracto), 54, 27, 13.5, 6.75, 3.38, 1.69 y 0.84 (diluciones de la concentración inmediata anterior); hubo un testigo con agua destilada (TEH₂O).

En la segunda prueba se evaluó el efecto de los extractos orgánicos del residuo de amaranto; los tratamientos fueron el extracto derivado de cada solvente (hexano, diclorometano y metanol). Hubo dos testigos: 1) sólo se usó agua destilada (TEH₂O); 2) agua destilada más el solvente orgánico (TEH₂O+SOLV) usado en la extracción.

Pruebas biológicas

Se hicieron en cajas Petri, usando papel filtro Whatman #1. Se aplicó 1.1 mL de cada tratamiento (de extractos acuosos y orgánicos). Los extractos orgánicos se aplicaron en concentración de 1000 ppm, se evaporó el disolvente a temperatura ambiente por 1 h, y se aplicó agua en la misma cantidad (1.1 mL) para permitir la germinación.

Como malezas se usaron semillas de *Amaranthus hybridus* L. y *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv., obtenidas de plantas cultivadas en invernadero (las de *A. hybridus* son de plantas que crecen en la zona de estudio). Como hortalizas se usaron semillas comerciales de rábano (*Raphanus sativus* L. var. Champion), cebolla (*Allium cepa* L.) y zanahoria (*Daucus carota* L. var. Nantes).

Para las pruebas biológicas con el extracto acuoso se usaron cinco semillas de *E. crus-galli*, rábano y cebolla, y 10 de zanahoria, por repetición. Para las pruebas con extractos orgánicos se usaron 10 semillas de *A. hybridus* y 10 de *E. crus-galli*, por repetición.

Las cajas se incubaron en una cámara de crecimiento (Freas 815 Low Temperature Incubator, PS GCA Corporation), a 25±1 °C, en oscuridad, por tiempo variable dependiendo del tiempo de germinación de cada especie.

Extracts with organic solvents

This extraction was performed in Soxhlet equipment, using 30 g of amaranth residue, which was placed in Whatman #1 filter paper cartridges. Solvents of increasing polarity were used: hexane, dichloromethane and methanol (MERCK, KGaA). In each extraction 300 mL of each solvent were used and the final extracts were concentrated in a rota-evaporator (BÜCHI R-124). Extraction time varied for each solvent.

Treatments

Two bioassays were conducted. The first was to evaluate the effect of the aqueous extract of amaranth residue at different total phenol phenolic concentrations (ppm), (treatments; Tejeda-Sartorius *et al.*, 2004): 108 (initial extract concentration), 54, 27, 13.5, 6.75, 3.38, 1.69, and 0.84 (dilutions of the immediately previous concentration). There was a control with distilled water (TEH₂O).

The second test was to evaluate the effect of amaranth residue organic extracts; the treatments were the extracts derived from each solvent (hexane, dichloromethane and methanol). There were two controls: 1) only distilled water (TEH₂O); 2) distilled water plus the organic solvent (TEH₂O+SOLV) used in extraction.

Bioassays

They were conducted in Petri dishes with Whatman #1 filter paper. Each treatment consisted of 1.1 mL aqueous and organic extracts. The organic extracts were applied in a concentration of 1000 ppm; the solvent was evaporated at room temperature for 1 h and water was applied in the same quantity (1.1 mL) to allow germination.

Seeds of *Amaranthus hybridus* L. and *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. were used as weeds. These were obtained from plants cultivated in a greenhouse (*A. hybridus* seeds were from plants growing in the study area). As vegetables, commercial radish (*Raphanus sativus* L. var. Champion), onion (*Allium cepa* L.) and carrot (*Daucus carota* L. var. Nantes) seeds were used.

For the bioassays with aqueous extract, five seeds of *E. crus-galli*, radish and onion, and ten carrot seeds were used per replication. For the bioassays with organic extracts, ten *A. hybridus* and ten *E. crus-galli* seeds were used per replication.

The dishes were incubated in a growth chamber (Freas 815 Low Temperature Incubator, PS GCA Corporation), growth chamber at 25±1 °C in the dark for variable time depending on the germination time of each species.

Experimental design

The Petri dishes in the biological tests had four divisions, and each division was considered a replication of the treatment, with four dishes per treatment (16 replications per treatment). The design was completely randomized.

Diseño experimental

Las cajas Petri en las pruebas biológicas tenían cuatro divisiones, y cada división se usó como una repetición del tratamiento, con cuatro cajas por tratamiento (16 repeticiones por tratamiento). El diseño fue completamente al azar.

Variables

Las variables fueron: 1) porcentaje de inhibición de la germinación (%IG), para lo cual se consideró 100% el número de semillas germinadas en TEH₂O; 2) longitud del vástago y la radícula (mm) al término de cada prueba.

Análisis estadístico

Se hizo un análisis de varianza con los datos, y las medias de tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los tratamientos se analizaron independientemente para cada prueba biológica y cada especie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del extracto acuoso del residuo de amaranto

Echinochloa crus-galli (L.) Beauv.

La germinación de *E. crus-galli* disminuyó ($p \leq 0.05$) con la concentración más alta (108 ppm) 55 y 57% a las 48 y 72 h, en relación con TEH₂O, aunque la inhibición disminuyó a las 96 h (Figura 1). La concentración más alta inhibió ($p \leq 0.05$) la elongación de la radícula y vástago (65 y 47%), respecto al testigo, a las 96 h (Figura 1). El efecto inhibitorio del extracto acuoso del residuo de amaranto en *E. crus-galli*, es similar al efecto de los extractos de paja de arroz (Chung *et al.*, 2003). Estos autores reportaron que dichos extractos fueron los más inhibitorios de *E. crus-galli* (22%), comparados con los extractos de las cascarillas (8%) y hojas (12%).

Raphanus sativus L.

La concentración más alta (108 ppm) inhibió ($p \leq 0.05$) la germinación de rábano de 24 a 72 h (82 y 56%), respecto a TEH₂O. Algunas concentraciones (3.38 y 0.84 ppm) estimularon la germinación a las 24 y 48 h, pero a las 72 h las semillas del testigo igualaron la germinación de las semillas en esas concentraciones (Figura 2A). Las dos concentraciones más altas (108 y 54 ppm) redujeron más que las otras concentraciones, el crecimiento de radícula (71 y 51%), y vástago (73 y 57%; $p \leq 0.05$) comparado con TEH₂O (Figura 2A).

Variables

The variables were: 1) percentage of inhibition of germination (%IG), for which 100% was the number of seeds germinated in TEH₂O; 2) shoot and radicle length (mm) at the end of the test.

Statistical analysis

An analysis of variance was performed with the data, and treatment means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$). Treatments were analyzed independently for each biological test and each species.

RESULTS AND DISCUSSION

Effect of amaranth residue aqueous extract

Echinochloa crus-galli (L.) Beauv.

Germination of *E. crus-galli* decreased ($p \leq 0.05$) 55 and 57% with the highest concentration (108 ppm) after 48 and 72 h, relative to TEH₂O, although after 96 h inhibition decreased (Figure 1). The highest concentration inhibited ($p \leq 0.05$) elongation of radicle and shoot (65 and 47%), relative to the control after 96 h (Figure 1). The inhibitory effect of the aqueous amaranth residue extract of *E. crus-galli* is similar to the effect of the extracts of rice straw (Chung *et al.*, 2003). These authors report that straw extracts were those that most inhibited *E. crus-galli* (22%), compared with extracts made from husks (8%) and leaves (12%).

Raphanus sativus L.

The highest concentration (108 ppm) inhibited ($p \leq 0.05$) germination of radish from 24 to 72 h (82 and 56%), relative to TEH₂O. Some concentrations (3.38 and 0.84) stimulated germination after 24 and 48 h, but at 72 h the control seeds equaled germination of seeds in solutions of these concentrations (Figure 2A). The two highest concentrations (108 and 54 ppm) decreased ($p \leq 0.05$) radicle (71 and 51%) and shoot (73 and 57%; $p \leq 0.05$) growth more than the other concentrations, relative to TEH₂O (Figure 2A).

Allium cepa L.

Germination of onion did not decrease ($p > 0.05$) with the concentrations of phenolic (Figure 2B). As for growth, the most outstanding result was that the 108 ppm concentration decreased ($p \leq 0.05$) length of the radicle (75%) and shoot (67%), relative to TEH₂O (Figure 2B).

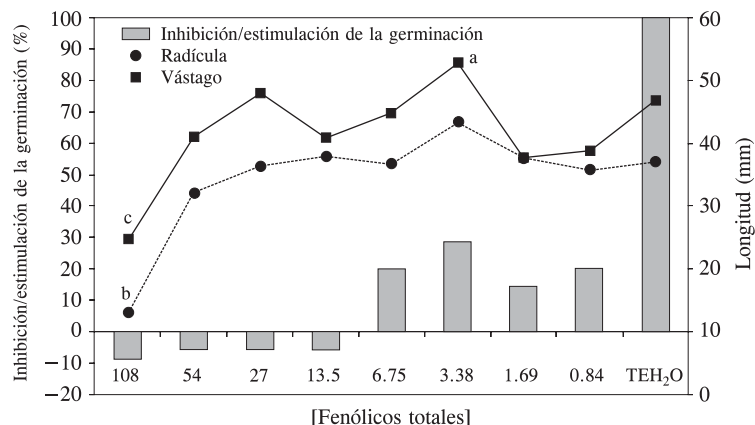


Figura 1. Efecto del extracto acuoso del residuo de amaranto a diferentes concentraciones de fenólicos totales (ppm), sobre la germinación y crecimiento de *Echinochloa crus-galli*, a las 96 h. Medias con distinta letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). TEH₂O = Testigo con agua destilada.

Figure 1. Effect of amaranth residue aqueous extract at different concentrations of total phenolic (ppm) on germination and growth of *Echinochloa crus-galli* at 96 h. Means with different letters are statistically different ($p \leq 0.05$). TEH₂O = control with distilled water.

Allium cepa L.

La germinación de cebolla no disminuyó con las concentraciones de fenólicos (Figura 2B). Respecto al crecimiento, el resultado más sobresaliente fue que la concentración de 108 ppm disminuyó ($p \leq 0.05$) la longitud de la radícula (75%) y vástago (67%) respecto al TEH₂O (Figura 2B).

Daucus carota L.

La concentración de 108 ppm inhibió la germinación sólo a las 96 (100%) y 120 h (75%); al final de la prueba biológica (192 h) la germinación no fue diferente ($p > 0.05$) a la de TEH₂O (Figura 2C). Las concentraciones 108 y 54 ppm disminuyeron ($p \leq 0.05$) la elongación de radícula (76 y 66%) y vástago (86 y 78%; Figura 2C).

Algunos autores han reportado el efecto inhibitorio de compuestos fenólicos, en extractos de diferentes cultivos, sobre la germinación o el crecimiento de plantas, dependiendo de su concentración. Chon y Kim (2004) señalaron que los extractos acuosos de cebada, avena, arroz y trigo inhiben el crecimiento de raíz de *E. crus-galli* Beauv var. *oryzicola* Ohwi. La inhibición se atribuyó a compuestos fenólicos, y al aumentar la concentración de dichos compuestos en los extractos, el crecimiento de la raíz disminuyó significativamente. Wu *et al.* (1998) encontraron que la germinación y el crecimiento de la radícula de *Lolium rigidum* Gaud. fueron inhibidos significativamente por extractos acuosos de tallo de seis cultivares de trigo. La inhibición estuvo correlacionada positivamente con los ácidos fenólicos totales en cada extracto. Estos resultados coinciden con los de la presente investigación, ya que aquí se muestra el efecto inhibitorio de los fenólicos totales en el residuo de amaranto, y cómo el aumento en la

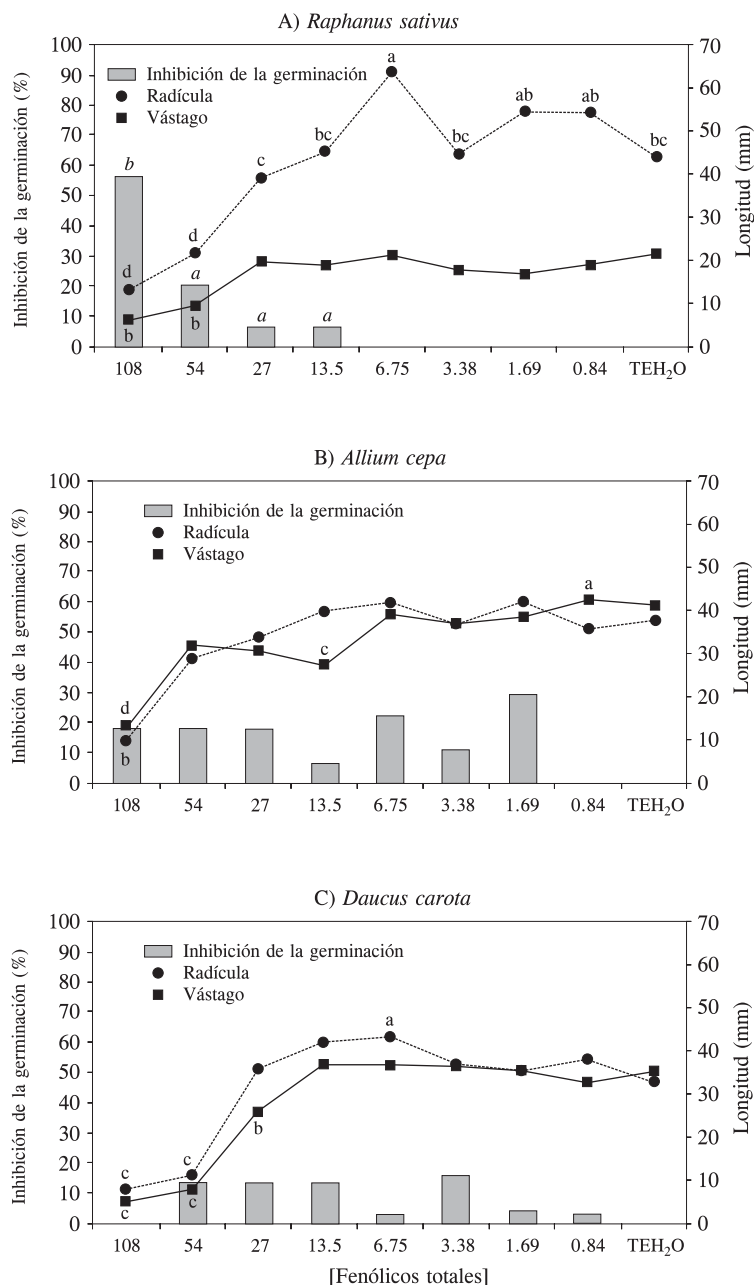
Daucus carota L.

The concentration of 108 ppm inhibited germination only at 96 (100%) and 120 h (75%); at the end of the bioassay (192 h), germination was not different ($p > 0.05$) to TEH₂O (Figure 2C). The concentrations 108 and 54 ppm decreased ($p \leq 0.05$) radicle (76 and 66%) and shoot (86 and 78%; Figure 2C).

Some authors have reported the inhibitory effect of phenolic compounds in extracts of different crops on germination or plant growth, depending on the concentration. Chon and Kim (2004) report that the aqueous extracts of barley, oats, rice and wheat inhibit growth of *E. crus-galli* Beauv var. *oryzicola* Ohwi roots. Inhibition is attributed to phenolic compounds, and as concentration of these compounds in the extracts increased, root growth decreased significantly. Wu *et al.* (1998) found that germination and growth of the radicle of *Lolium rigidum* Gaud. was significantly inhibited by aqueous extracts from the stem of six wheat cultivars. Inhibition was positively correlated with total phenolic acids in each extract. These results coincide with those of our research; here, the inhibitory effect of total phenolic in amaranth residues is shown, as well as how an increase in concentration further decreases germination and growth. Also, our work agrees with the results reported by Tejeda-Sartorius *et al.* (2004), who showed an inhibitory effect of the same extract and the same concentrations of total phenols phenolic on *A. hybridus*; of these concentrations, the highest (108 and 54 ppm) caused greater inhibition. In our study the fact that in some cases inhibition of germination decreases and becomes similar to the control suggests that other concentrations of the extract should be researched to establish maximum and minimum thresholds of inhibition.

Figura 2. Efecto de extracto acuoso del residuo de amaranto a diferentes concentraciones de fenólicos totales (ppm), en la germinación y crecimiento de: A) *Raphanus sativus* (72 h), B) *Allium cepa* (144 h) y C) *Daucus carota* (192 h). Medias con distinta letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Figure 2. Effect of amaranth residue aqueous extract, at different concentrations of total phenolic (ppm), on germination and growth of A) *Raphanus sativus* (72 h), B) *Allium cepa* (144 h), and C) *Daucus carota* (192 h). Means with different letters are statistically different ($p \leq 0.05$).



concentración disminuye más la germinación y el crecimiento. Además, el presente trabajo coincide con los resultados reportados por Tejeda-Sartorius *et al.* (2004), quienes mostraron un efecto inhibitorio del mismo extracto y las mismas concentraciones de fenólicos totales en *A. hybridus*, donde las más altas (108 y 54 ppm) causaron la mayor inhibición. En el presente trabajo, el hecho de que en algunos casos la inhibición de la germinación disminuya y sea similar al testigo, sugiere que se debe investigar otras concentraciones del extracto para establecer umbrales máximos y mínimos de inhibición.

Effect of amaranth residue organic extract

Amaranthus hybridus L.

The amaranth organic extracts, in different polarities, did not affect ($p > 0.05$) germination of *A. hybridus*. It was only the dichloromethane fraction that inhibited ($p \leq 0.05$) 22 and 8% at 24 and 48 h, compared with TEH₂O (Table 1). In terms of growth, this fraction decreased radicle elongation (34%), while the hexane and dichloromethane fraction inhibited shoot growth (32 and 66%), relative to TEH₂O (Table 2).

Efecto del extracto orgánico del residuo de amaranto

Amaranthus hybridus L.

Los extractos orgánicos de amaranto, en sus diferentes polaridades, no cambiaron ($p > 0.05$) la germinación de *A. hybridus*. Sólo la fracción diclorometánica inhibió ($p \leq 0.05$) 22 y 8%, a las 24 y 48 h, comparado con TEH_2O (Cuadro 1). Respecto al crecimiento, dicha fracción redujo la elongación de la radícula (34%), mientras que las fracciones hexánica y diclorometánica inhibieron el crecimiento del vástago (32 y 66%), en relación con TEH_2O (Cuadro 2).

Echinochloa crus-galli (L.) Beauv.

Los extractos orgánicos inhibieron la germinación ($p \leq 0.05$) de *E. crus-galli* respecto a los testigos sólo a las 48 h; a las 72 h ya no hubo inhibición (Cuadro 1). Dichos extractos inhibieron ($p \leq 0.05$) el crecimiento de radícula (25% promedio de las tres fracciones orgánicas). El crecimiento del vástago se redujo ($p \leq 0.05$) sólo por la fracción metanólica ($p \leq 0.05$) respecto a TEH_2O (Cuadro 2).

Se observó un efecto diferencial de daño a las estructuras o a los procesos germinación-crecimiento. Al respecto, Rasmussen y Einhellig (1979) señalaron que hay efectos alelopáticos en germinación *versus* crecimiento, dependiendo de la especie y concentración de compuestos (Guenzi y McCalla, 1966). Tal vez el crecimiento de la plántula es más sensible a la alelopatía que la germinación de la semilla, como se observó en esta investigación (Einhellig, 1986).

Coincidiendo con lo anterior, se observó que en algunos casos, como en cebolla, el extracto acuoso de amaranto no inhibió la germinación, lo cual indica que los compuestos inhibitorios del extracto no pudieron penetrar las membranas celulares de la testa. Sin embargo, en la mayoría de los casos en que hubo germinación, el crecimiento disminuyó. Ésto probablemente significa que los compuestos fenólicos influyeron en las estructuras destinadas a la elongación, deteniendo su proceso o alterando el balance hormonal (reguladores del crecimiento de raíz y tallo). Al respecto, Einhellig (1986) hipotetizó que los compuestos fenólicos tienen sus efectos primarios en las funciones de membrana y las interacciones con hormonas. En el presente trabajo, en los casos de inhibición del crecimiento, se observaron deformaciones y encorvamiento de radícula o vástago de las plántulas, así como color café oscuro, comparado con el crecimiento firme y sin curvaturas, y color

Echinochloa crus-galli (L.) Beauv.

The organic extracts inhibited ($p \leq 0.05$) germination of *E. crus-galli*, relative to the controls only at 48 h; after 72 h there was no longer any inhibition (Table 1). These extracts inhibited ($p \leq 0.05$) radicle growth (25% average of the three organic fractions). Shoot growth was decreased ($p \leq 0.05$) only by the methanol fraction (31%), relative to TEH_2O (Table 2).

A differential effect of damage to structures or to germination-growth processes was observed. In this regard, Rasmussen and Einhellig (1979) pointed out that there are allelopathic effects at germination versus growth, depending on the species and compound concentration (Guenzi and McCalla, 1966). Seedling growth might be more sensitive to allelopathy than seed germination, as was observed in our study (Einhellig, 1986).

Coinciding with the above, it was observed that in some cases, such as onion, the amaranth aqueous extract did not inhibit germination, indicating that the inhibitory compounds of the extract could not penetrate testa cell membranes. However, in most of the cases in which germination occurred, growth decreased. This probably means that the phenolic compounds affected elongation structures, detaining the process or altering hormonal balance (root and stem growth regulators). In this respect, Einhellig (1986) hypothesized that phenolic compounds have their primary effects on membrane functions and interactions with hormones. In the present study, in the cases of growth inhibition, deformations and curving of the radicle or shoot of the seedlings were observed, as well as dark brown color, in contrast to the firm growth without curvatures and white color of those structures of seedlings grown in the control with water.

Besides possible water-soluble inhibiting substances in amaranth residue, the effect of the organic residue extracts suggests the presence of residues compounds that are not soluble in water, which inhibit germination or growth.

CONCLUSION

Amaranth residue aqueous extract has substances that inhibit germination or growth of *E. crus-galli*, radish, onion and carrot. Total phenolics, mainly in concentrations of 108 and 54 ppm, are partially responsible for this inhibition. The amaranth residue organic extracts (hexane, dichloromethane and methanol) delayed germination of *A. hybridus* and *E. crus-galli*. Besides, these fractions differentially reduced radicle or shoot growth of both species.

Cuadro 1. Efecto del extracto orgánico del residuo de amaranto en la germinación de *Amaranthus hybridus* y *Echinochloa crus-galli*.
Table 1. Effect of amaranth residue organic extract on germination of *Amaranthus hybridus* and *Echinochloa crus-galli*.

Tratamientos	<i>Amaranthus hybridus</i>				<i>Echinochloa crus-galli</i>			
	24 h		48 h		48 h		72 h	
	NSG	%IG	NSG	%IG	NSG	%IG	NSG	%IG
Extracto hexánico	8.3 a	8.0	9.0 a	0.0	7.0 b	22.2	9.7 a	3.0
Extracto diclorometánico	7.0 b	22.2	8.3 b	8.0	6.0 b	33.3	9.3 a	7.0
Extracto metanólico	9.0 a	0.0	9.0 a	0.0	6.7 b	25.6	10.0 a	0.0
Testigo 1 TEH ₂ O	9.0 a	0.0	9.0 a	0.0	9.0 a	0.0	10.0 a	0.0
Testigo 2 TEH ₂ O+SOLV	9.3 a	+3.3	9.7 a	+7.8	9.0 a	0.0	10.0 a	0.0

NSG = número promedio de semillas germinadas por repetición.

%IG = porcentaje de inhibición de la germinación.

+ = porcentaje de estimulación de la germinación.

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Cuadro 2. Efecto del extracto orgánico del residuo de amaranto en el crecimiento de radícula y vástago (mm) de *Amaranthus hybridus* y *Echinochloa crus-galli*.
Table 2. Effect of amaranth residue organic extract on *Amaranthus hybridus* and *Echinochloa crus-galli* radicle and shoot growth (mm).

Tratamientos	<i>Amaranthus hybridus</i>		<i>Echinochloa crus-galli</i>	
	Radícula	Vástago	Radícula	Vástago
Extracto hexánico	22.1 a	10.3 b	19.2 b	16.5 a
Extracto diclorometánico	15.6 b	5.1 c	20.2 b	15.4 a
Extracto metanólico	22.7 a	14.0 a	18.5 b	10.9 b
Testigo 1 TEH ₂ O	23.6 a	15.2 a	25.7 a	15.7 a
Testigo 2 TEH ₂ O+SOLV	24.9 a	15.8 a	23.2 ab	16.2 a

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

blanco de dichas estructuras de las plántulas crecidas en el testigo con agua.

Además de las posibles sustancias inhibidoras solubles en agua en el residuo de amaranto, el efecto de los extractos orgánicos del residuo sugiere la presencia de compuestos no solubles en agua, inhibidores de la germinación o el crecimiento.

CONCLUSIONES

El extracto acuoso del residuo de amaranto posee sustancias inhibidoras de la germinación o el crecimiento de *E. crus-galli*, rábano, cebolla y zanahoria. Los fenólicos totales, en concentraciones de 108 y 54 ppm principalmente, son parcialmente responsables de dicha inhibición. Los extractos orgánicos de residuo de amaranto (hexánico, diclorometánico y metanólico), retrasaron la germinación de *A. hybridus* y *E. crus-galli*. Además, dichas fracciones disminuyen diferencialmente el crecimiento de radícula o vástago de ambas especies. Los resultados confirman la complejidad y variabilidad de los efectos alelopáticos.

The results confirm the complexity and variability of allelopathic effects.

—End of the English version—



LITERATURA CITADA

- Chon S., U., and Y. M. Kim. 2004. Herbicidal potential and quantification of suspected allelochemicals from four grass crop extracts. *J. Agron. and Crop Sci.* 190(2): 145-150.
- Chung I., M., K. H. Kim, J. K. Ahn, S. B. Lee, S. H. Kim, and S. J. Hahn. 2003. Comparison of allelopathic potential of rice leaves, straw, and hull extracts on barnyardgrass. *Agron. J.* 95: 1063-1070.
- Connick W., J., J. M. Bradow, M. G. Legendre, S. L. Vail, and R. M. Menges. 1987. Identification of volatile allelochemicals from *Amaranthus palmeri* S. Wats. *J. Chem. Ecol.* 13(3): 463-472.
- Connick W., J., J. M. Bradow, and M. G. Legendre. 1989. Identification and bioactivity of volatile allelochemicals from amaranth residues. *J. Agric. and Food Chem.* 37: 792-796.
- Duke S., O. 1986. Microbially produced phytotoxins as herbicides—a perspective. In: Putnam A. R., and C. S. Tang (eds). *The Science of Allelopathy*. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA. pp: 287-304.

- Duke S., O. 1990. Natural pesticides from plants. *In*: Janick, J., and J. E. Simon (eds). *Advances in New Crops*. Timber Press, Portland, OR. pp: 511-517.
- Einhellig F., A. 1986. Mechanisms and modes of action of allelochemicals. *In*: Putnam A. R., and C. S. Tang (eds). *The Science of Allelopathy*. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA. pp: 171-188.
- Foy C., L. 1999. How to make bioassays for allelopathy more relevant to field conditions with particular reference to cropland weeds. *In*: Inderjit, K., M. M. Dakshini, and C. L. Foy (eds). *Principles and Practices in Plant Ecology: Allelochemical Interactions*. CRC Press, Boca Raton, FL. pp: 25-33.
- Guenzi W., D., and T. M. McCalla. 1966. Phenolic acids in oats, wheat, sorghum, and corn residues and their phytotoxicity. *Agron. J.* 58: 303-304.
- Menges R., M. 1987. Allelopathic effects of palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) and other plant residues in soil. *Weed Sci.* 35: 339-347.
- Menges R., M. 1988. Allelopathic effects of palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) on seedling growth. *Weed Sci.* 36: 325-328.
- Putnam A., R. 1985. Weed allelopathy. *In*: Duke S., O. (ed). *Weed Physiology*. Vol. I. CRC Press, Boca Raton FL, USA. pp: 131-155.
- Putnam A., R., and W. B. Duke. 1978. Allelopathy in agroecosystems. *Ann. Rev. of Phytopathol.* 16: 431-451.
- Rasmussen J., A., and F. A. Einhellig. 1979. Inhibitory effects of combinations of three phenolic acids on grain sorghum germination. *Plant Sci. Lett.* 14(1): 69-74.
- Rice, E. L. 1984. *Allelopathy*. 2nd ed. Academic Press, Orlando, FL. 422 p.
- Sánchez M., A. 1980. *Potencialidad Agroindustrial del Amaranto*. Centro de Estudios Económicos y Sociales del Tercer Mundo. Chapingo, México, D. F. 238 p.
- Stallknecht G., F., and J. R. Schulz-Schaeffer. 1993. Amaranth rediscovered. *In*: Janick, J., and J. E. Simon (eds). *New Crops*. John Wiley & Sons, Inc. New York. pp: 211-218.
- Tejeda-Sartorius, O., J. A. Escalante, M. Soto, M. T. Rodríguez, H. Vibrans, y M. E. Ramírez. 2004. Inhibidores de la germinación en el residuo seco del tallo del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). *Rev. Soc. Quím. Méx.* 48: 118-123.
- Weston L., A. 1996. Utilization of allelopathy for weed management in agroecosystems. *Agron. J.* 88: 860-866.
- Wu, H., J. Pratley, D. Lemerle, T. Haig, and B. Verbeek, 1998. Differential allelopathic potencial among wheat accessions to annual ryegrass. *Proceedings of the 9th Australian Agronomy Conference*, Wagga Wagga.