

Higuereta (*Ricinus communis* L.) como recurso fitogenético en Cuba

Castor bean (*Ricinus communis* L.) as phytogetic resource in Cuba

Keily Montero Alvarez^a (0000-0002-0600-6812)
Miguel Ramos Real^a (0000-0003-2005-0382)
Emilio Fernández González^b (0000-0002-9224-3346)
Mabel Villanueva Domínguez^{a,*} (0000-0003-4023-4920).

^a Centro de Investigaciones en Plantas Proteicas y Productos Bionaturales (CIPB). Ave 5ta y 246, Complejo Barlovento, Playa, La Habana, Cuba.

^b Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV). Calle 110 No. 514 e/ 5ta B y 5ta F, Playa. La Habana, Cuba. C. P. 11600.

^{a,*} mvillanueva@bionaturasm.cu

Recibido: 26 de mayo de 2023;

Aceptado: 28 de febrero de 2024;

RESUMEN

La planta de higuereta (*Ricinus communis* L.), es una Euphorbiaceae, que posee algunas cualidades que la hacen una planta promisoría para el complemento de la actividad cosmética, y su uso con fines medicinales, entre los que destaca el uso del aceite de ricino como laxante. Este cultivo es reconocido también por poseer una importante actividad nematocida sobre diferentes nematodos fitopatógenos, que son el principal problema fitosanitario en varios cultivos y que ocasiona una alta mortalidad. Esta revisión examina algunas de las temáticas de mayor interés en las que está involucrada esta planta, como son manejo del cultivo, plagas y enfermedades, obtención de aceite de ricino, torta y harina, determinación de ricina en la torta, así como la actividad nematocida e insecticida.

Palabras clave: aceite de ricino; torta y harina; actividad nematocida e insecticida.

ABSTRACT

Castor bean plant (*Ricinus communis* L.), is a Euphorbiaceae, which has some qualities that make it a promising plant to complement cosmetic activity, and its use for medicinal purposes, among which the use of castor oil as a laxative stands out. This crop is also recognized for having a significant nematocidal activity against different plant parasitic nematodes, which are the main phytosanitary problem in various crops and cause high mortality. This review examines some of the most interesting topics in which this plant is involved, such as crop management, pests and diseases, obtainment of castor oil, determination of ricin in the cake, as well as nematocidal and insecticidal activity.

Keywords: castor oil; cake and flour; nematocidal activity; insecticidal activity.

INTRODUCCIÓN

La higuera (*Ricinus communis* L.) conocida también como higuera, ricino, tártago, mamoneira, mamona, palma christi, castor, castor bean y castor oilplant (Falasca *et al.*, 2012), es una planta oleaginosa que pertenece a la familia de las *Euphorbiaceae*. Presenta un crecimiento en forma de arbusto cuyo centro de origen lo reportan para la parte norte y centro del continente africano, desde donde fue llevada hacia áreas tropicales y subtropicales del continente americano. En Cuba crece de forma espontánea en terrenos yermos y cultivados. Posee hojas alternas y palmadas, flores numerosas, apétalas, pequeñas, verdosas y en racimos terminales. El fruto es una cápsula tubular espinosa que contiene en cada celda una semilla ovoide.

Figura 1. A, B y C) Plantas de higuera de dos variedades Criollas; D) Frutos de tres lóbulos; E y F) Frutos de las plantas correspondientes a las variedades Criollas que se muestran; G y H) Frutos en diferentes momentos de maduración.



Fig 1. A, B y C) Plantas de higuera de dos variedades Criollas; D) Frutos de tres lóbulos; E y F) Frutos de las plantas correspondientes a las variedades Criollas que se muestran; G y H) Frutos en diferentes momentos de maduración.

Posición sistemática de la planta

Reino: Plantae

Orden: Malpighiales

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Clasificación superior:

Familia: Euphorbiaceae

Género: *Ricinus*

Especie: *Ricinus communis* L.

Las semillas contienen entre 40-60% de aceite, compuesto por grasas poliinsaturadas, como omega 3 (ácido α -linolénico (70-90%), y el ácido graso monoinsaturado omega 9 (ácido oleico (2-4 %)). Este último contiene en su estructura 18 átomos de carbonos, con un grupo carboxilo en el carbono 1, un doble enlace en el carbono nueve y un grupo hidroxilo en el doce, estructura química que le confiere varias ventajas, como: mayor densidad y viscosidad a diferentes temperaturas, solubilidad parcial en alcohol y estabilidad a altas y bajas temperaturas (Vasco-Leal *et al.*, 2017; Goytia-Jimenez *et al.*, 2011). Esto les proporciona una gran adaptación a diferentes entornos, lo cual ha validado su entrada a varias industrias tales como la producción de biodiesel, aeronáutica, automotriz, farmacéutica, química y cosmética (Vasco-Leal *et al.*, 2017). Además, las semillas contienen metabolitos secundarios como albúminas (ricina), que son utilizados como nematocidas e insecticidas para el control de plagas en los cultivos (Ramírez- Hernández & Giraldo-Valderrama, 2017; Balali-Mood & Moshiri, 2015; Arboleda *et al.*, 2012; Céspedes *et al.*, 2001).

Este trabajo aborda aspectos de interés entre los que se destacan, el manejo del cultivo de higuiereta, principales plagas y enfermedades que lo atacan, el empleo del aceite de ricino y sus diferentes usos, así como su potencial uso en la industria agroalimentaria.

Manejo del cultivo de *Ricinus communis* L

La higuierilla se ha considerado como un cultivo de regiones tropicales, requiriendo temperaturas óptimas entre los 20 y 25°C, durante 4 a 6 meses y baja humedad relativa, aunque se informa que puede crecer bien a temperaturas cercanas a los 41°C. Temperaturas superiores provocan aborto de flores, reversión sexual, disminución del contenido de aceite y el número de semilla, efecto incrementa en ambientes con déficit hídrico (Kouri *et al.*, 2006; CORPOICA, 2008). Por otro lado, temperaturas inferiores a 14°C, disminuyen la capacidad de la planta para generar frutos maduros, permanece en estado vegetativo y en ocasiones hay aborto de flores (Goytia-Jimenez *et al.*, 2011).

La higuierilla se puede desarrollar en bosques húmedo-templados, lluvioso templados, en el desierto tropical y hasta en el bosque lluvioso, tolerando precipitaciones desde 200 mm a 4290 mm/ año (Falasca *et al.*, 2012), El exceso de humedad es perjudicial en cualquier fase del ciclo del cultivo, siendo más crítico en estado de plántula y durante la formación y llenado del fruto (Amorim *et al.*, 2001; Raya Pérez *et al.*, 2016). El mejor desarrollo y producción se logra en áreas con buena radiación solar, de por lo menos 12 horas sol por día (Falasca *et al.*, 2012).

Con relación al riego y basado en estos antecedentes, la higuierilla necesita un riego moderado durante todo el año. En Cuba, no existían plantaciones de higuierilla hasta muy recientemente. Su crecimiento ha sido observado siempre en lugares yermos, placeres, pero nunca en plantaciones bien establecidas. La mejor época para la siembra es al inicio de las lluvias.

Para su cultivo comercial, el desarrollo normal de la planta se consigue en climas cálidos y secos con precipitación de 700 a 1200 mm anuales (Orlando-López *et al.*, 2020) y baja humedad relativa. Las lluvias deben ser moderadas y bien distribuidas; abundantes en la etapa de desarrollo, pero no durante la floración y fructificación, pues se puede podrir. Durante los dos últimos meses es importante que no reciba agua. Algunos autores recomiendan tres y hasta cuatro riegos de auxilio (Llaven-Valencia *et al.*, 2019).

Esta especie se adapta bien a diversos tipos de suelo, con excepción de aquellos con elevados niveles de aluminio y arcilla, y con limitación de drenaje. En suelos con fertilidad elevada favorecen el crecimiento vegetativo excesivo y retrasan de forma considerable la etapa de floración (Amorim *et al.*, 2001; Raya Pérez *et al.*, 2016). Prefiere pH entre 5–7, aunque puede llegar a tolerar pH de 8; es sensible a los suelos ácidos. En sitios de lavados mineros, llega a crecer a pH de 5 y 3 (Córdoba- Gaona, 2013).

La fertilización orgánica e inorgánica como parte del manejo del cultivo de higuierilla, ha sido recientemente tratada (Orlando-López *et al.*, 2020). La higuierilla para poder producir 2000 kg ha⁻¹ de semillas, necesita alrededor de 80 kg ha⁻¹ de N, así como otros elementos. También revisaron que se promovió un incremento en su desarrollo, cuando se utilizaron residuos de la basura, demostrando que los fertilizantes de origen orgánico son efectivos para esta planta. Otro trabajo permitió determinar la disponibilidad de nitrógeno de dos biosólidos generados a partir de sistemas de tratamiento diferente y su efecto sobre el rendimiento de aceite a partir de semilla higuierilla (Maciel-Torres *et al.*, 2020).

Con relación al sistema de nutrición en la conducción y manejo del cultivo en función del rendimiento y calidad de los frutos, algunos autores confirmaron que las hojas de esta planta son una materia prima rica en diversos compuestos bioactivos de interés nutricional y comercial como son las saponinas, taninos, terpenoides, esteroides, flavonoides y aminoácidos (Maldonado-Santoyo & Morales-López, 2022). Igualmente presentaron un alto contenido proteico, macro-minerales como el magnesio, calcio, potasio y fósforo y son ricas en carbono y nitrógeno. Estos compuestos le confieren diversas propiedades benéficas. Además, es una planta disponible todo el año, de fácil cultivo y de bajo costo, lo cual potencializa su valorización.

Es ampliamente aceptada la posibilidad de empleo de la higuierilla como potencial fitorremediador del suelo (Angelova & Nemska, 2020; Kiran & Prasad, 2017), por su tolerancia a la salinidad del suelo (Zheng *et al.*, 2021; Suhono *et al.*, 2021) y su tolerancia a la presencia de metales pesados (HuiBo *et al.*, 2023; Yeboah *et al.*, 2020).

Las semillas de higuierilla emergen de 6 a 20 días después de la siembra (Figura 2. Semillas de higuierilla. A) Tamaño; B y C) Semillas de dos variedades Criollas: Variedad Blanca y Variedad Verde; el periodo de germinación depende de la temperatura del suelo; si la temperatura es menor de 20°C, se extiende la permanencia de las semillas en el suelo hasta 15 o 20 días, lo que favorece el ataque de microorganismos e insectos; cuando la temperatura excede los 30°C, puede tomar hasta seis días. Se recomienda proteger a las semillas con fungicidas e insecticidas, colocar 2 semillas, a una profundidad de 3-8 cm, con un marco de siembra de 1.5 m de separación entre plantas y 3 m entre surcos (Córdoba- Gaona, 2013; Barrios *et al.*, 2013). Para las labores del suelo se emplean los métodos convencionales.

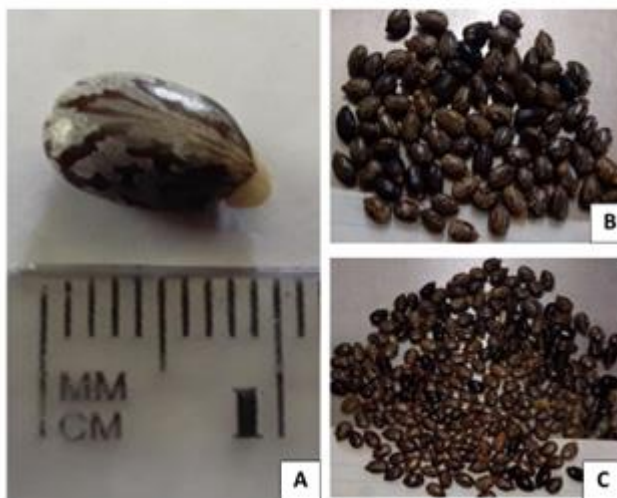


Fig. 2. Semillas de higuera. A) Tamaño; B y C) Semillas de dos variedades Criollas: Variedad Blanca y Variedad Verde

La primera floración o primer racimo floral, que resulta ser el de mayor tamaño, puede ocurrir a los 40-70 días después de la siembra (Córdoba- Gaona, 2013). En cultivares de crecimiento anual, el período de emergencia a la maduración varía de 140-170 días. Los racimos maduros son cortados con cuchillos afilados o tijeras podadoras, siendo la mejor hora para realizar la actividad, por la mañana; el corte de los racimos puede hacerse cuando estos han secado completamente, pero se corre el riesgo de que se hayan desgranado o se desgranen al tirar los racimos al suelo (Raya Pérez *et al.*, 2016; Córdoba- Gaona, 2013).

Es una planta adaptada a intervalos amplios de luz solar; con nueve horas luz, el desarrollo y crecimiento se reducen, mientras que con 12-18 horas, el desarrollo es normal. El cultivo es perenne y puede soportar hasta 10-15 años de producción. Como periodo de vida la planta puede alcanzar los 40-50 años (Silitonga *et al.*, 2016). Existen variedades, en las cuales, al madurar y secarse las cápsulas al sol, éstas abren solas (dehiscentes). En estos casos la cosecha puede arrancar a partir de los 120 días en variedades precoces y a los 160 días en tardías (Barrios *et al.*, 2013). Si la planta recibe gran cantidad de nutrientes y humedad en exceso, es probable que genere un gran desarrollo vegetativo y poca producción de semillas.

Un aspecto que resulta de interés es que Beltrão *et al.*, (2010) demostraron que el cultivo de higuera brindó rendimientos superiores cuando se plantó sólo, que cuando se sembró en sistema intercalado con maní. La causa que se discutió fue que posiblemente esto se debió a la competencia impuesta por el maní en el comienzo del crecimiento de las semillas de higuera. Esto puede ser importante si su presencia obedece más a su empleo como cultivo acompañante y no como el principal, como en el caso de su acción nematocida, como se verá posteriormente.

Plagas y enfermedades que dañan al cultivo de *Ricinus communis* L. Manejo

Los principales insectos que dañan a este cultivo son: Joboto *Phyllophaga* spp. (gallina ciega), (Coleóptera: Scarabaeidae), Gusano alambre *Agriotes* spp., (Lepidóptera: Noctuidae), Gusano soldado *Spodoptera* spp., (Coleóptera: Noctuidae) (Córdoba- Gaona, 2013). Estos insectos pueden perforar las semillas y cortar los tallos de las plántulas, y en estados más avanzados de crecimiento, destruyen las raíces. Para eliminarlos se sugiere una buena preparación del terreno, preferiblemente un mes antes de la siembra, con el fin de propiciar la destrucción de huevos, larvas y pupas al quedar expuestos al sol y a los animales. Es recomendable el combate químico preventivo con insecticidas.

La chinche hedionda *Nezara viridula* L. (Hemiptera: Pentatomidae) daña preferentemente las cápsulas al pincharlas, lo que provoca que resulten vanas. Para minimizar los daños, se sugiere mantener el cultivo limpio de malezas e iniciar el control químico cuando se observen uno o más insectos por planta (Córdoba- Gaona, 2013).

Entre las enfermedades, el hongo de suelo *Fusarium oxysporum* Schldt. ataca las plantas en cualquier estado de su ciclo, causando marchitez en las hojas, en la base de estas y de las ramas, donde se produce una mancha color marrón oscuro longitudinal, que generalmente culmina con la muerte de la planta. Cuando el ataque ocurre en estado adulto, afecta la producción de frutos. Cuando se detecta la presencia de la enfermedad, se sugiere erradicar

las plantas si el ataque es aislado. Posteriormente el cultivo debe rotarse o sembrar preferentemente variedades resistentes y precoces (Silitonga *et al.*, 2016; (Olivares *et al.*, 2013).

Otro hongo que ataca las plantaciones es *Botrytis cinerea* Pers, el cual daña las zonas reproductivas de la higuera, desde la inflorescencia hasta la semilla y pudre la cápsula (Córdoba- Gaona, 2013). Se presenta en condiciones de alta humedad y temperatura. La desinfección de la semilla con fungicidas y la siembra en época adecuada, para que el fructificación no ocurra en época húmeda, es fundamental. Las plantaciones dañadas deben ser eliminadas y destruidas, al igual que las plantas silvestres de esta especie que pudieran servir como reservorios.

Igualmente se informan manchas en las hojas, causadas por *Cercospora ricinella* Sacc. & Berl. y la bacteria *Xanthomonas ricinicola* (Olivares *et al.*, 2013; Vibran, 2009). El oomiceto *Phytophthora* spp. ataca las plántulas recién germinadas y causa la muerte.

Entre los métodos que han sido ampliamente utilizados para disminuir o atenuar el efecto causado por los agentes fitopatógenos, además de las atenciones culturales y los tratamientos químicos o con bioproductos, se encuentran la biofumigación y la solarización. La biofumigación es el empleo de materia orgánica mediante los procesos de degradación, que producen gases que actúan para controlar los patógenos que atacan a las plantas (Rudolph *et al.*, 2015). Por su parte, la solarización es un método efectivo de eliminar bacterias, hongos y nematodos, basado en el calentamiento del suelo a temperaturas tales, que produzcan un control físico de los patógenos del mismo. Esto se logra cubriendo el suelo con polietileno de baja densidad (entre 40 y 100 micrones), para incrementar y mantener el efecto de la radiación solar, durante 40 a 45 días. McGovern & McSorley, 2018; Di Mola *et al.*, 2021)

Para disminuir la incidencia de estas enfermedades se aconseja de forma general, tener buen drenaje en los suelos, sembrar en la época adecuada y utilizar variedades resistentes.

Aceite de *Ricinus communis* L.

El aceite que se obtiene de la semilla de higuera (*Ricinus communis* L.) también es llamado aceite de ricino o de castor. Los ácidos grasos constan de aproximadamente 80- 90% de ácido ricinoléico, 3-6% de ácido linoleico, 2-4% de ácido oleico y 1-5% de ácidos grasos saturados como ácido esteárico, palmítico, dihidroxiesteárico y eicosanoico (Rueda- Vera, 2018). En comparación con otros aceites vegetales, el aceite de ricino tiene una muy alta proporción de ácidos grasos insaturados (18:1). Dada su naturaleza química, el aceite es un líquido altamente viscoso, miscible en alcohol y ácido acético y de bajo punto de solidificación Carrino *et al.*, 2020; Osorio-Gonzalez *et al.*, 2020).

El aceite de ricino ya tiene un mercado internacional pues es utilizado como insumo en la medicina e industrias como las cosméticas, alimenticias, etc. (Rueda- Vera, 2018).

La higuera generalmente se procesa por dos sistemas para obtener el aceite. En el primero, se emplea la extracción mecánica en dos etapas, uno a baja temperatura para obtener el aceite de mejor calidad. En el segundo sistema se hace la primera operación por extracción mecánica y luego se extrae con disolventes (Rueda-Vera, 2018). Aunque en varios cultivos la extracción de aceites empleando solventes resultó mayor (Lafont *et al.*, 2019). Se debe precisar que la extracción que involucra solventes orgánicos, se asume cuando no se relaciona con aspectos alimenticios o cosméticos. De la extracción resultan dos tipos de aceites que se reconocen en el mercado internacional como aceite grado N°1 y aceite N°3 (Rueda- Vera, 2018; Melchor-Martinez, 2013). El N°1 procede de la primera expresión, seguida de filtración y blanqueado. Es de color claro brillante y de índice de acidez baja. También se le da el nombre de aceite de cristal y es el indicado para usos medicinales; comercialmente se le llama aceite de ricino. El aceite N°3 es el resultado de la segunda expresión o extracción. Resulta de color oscuro y con un índice de acidez alto. Para una revisión sobre el tema del aceite de higuera, ver Mutlu & Meier, (2010).

Con relación al rendimiento del aceite de higuera en campo, Huertas & Sánchez (2012) informaron un promedio de 1188 kg/ha, superior al del caucho (80-120 kg/ha), la colza (1100 kg/ha) y el girasol (890 kg/ha), pero inferior al de *Jatropha* y la palma aceitera (1590 y 5500 kg/ha), respectivamente.

Aceite de *R. communis* L. como biodiesel

La sociedad es altamente dependiente del petróleo para el transporte, la generación de calor y energía, en la industria petroquímica y química, como materia prima, en la fabricación de diversos productos como, solventes, lubricantes, plásticos, cauchos sintéticos, fibras y detergentes entre otros. Sin embargo, esta energía es agotable, por lo que los precios alcanzan valores elevados, lo que limitará este recurso como alternativa industrial, energética y económica.

A corto plazo, los aceites vegetales pueden ser una opción de fuente renovable de energía y tener un sustancial impacto, sustituyendo el petróleo como materia prima industrial. Aceites como el de canola, soya y palma, principalmente, se han empleado en la generación de biodiesel, como combustible fósil alternativo (Carlsson, 2009). El desarrollo de esta fuente limpia de energía, ha generado una competencia entre el uso de estos aceites en la industria alimenticia, química y la energética, lo que ha devenido en un incremento de los precios de los alimentos. Ferreira *et al.*, (2006) y FAO (2004) informaron una gran cantidad de países involucrados en el

desarrollo del cultivo de higuierilla con fines de producción y exportación mundial de aceite y de sus derivados, especialmente el biodiesel.

De acuerdo con varios autores, la higuierilla está catalogada entre las mejores plantas para crear biocombustible tipo Diésel (Carrino *et al.*, 2020; Osorio-González *et al.*, 2020; Melchor-Martinez, 2013; Benavides *et al.*, 2007). Esto es debido a que ofrece mejores condiciones técnicas en su utilización como propiedades de flujo, puntos de nube y fluidez a bajas temperaturas, disminución de gases de efecto invernadero y disminución en la opacidad de los humos.

Torta y Harina de *Ricinus communis* L

La torta de higuierilla es el residuo que se obtiene después de la extracción mecánica del aceite a partir de la semilla. Se pueden obtener aproximadamente 550 kg de torta por cada 1000 kg de semilla (Ramírez- Hernández & Giraldo-Valderrama 2017) ó 1,2 ton. de torta por cada tonelada de aceite extraído (Sayegh- Ordoñez & Cárdenas-Arias, 2011; Azevedo & Lima, 2001). Este rendimiento depende del contenido de aceite en la semilla y la eficiencia de extracción, la cual permitirá conocer la relación que existe entre la masa de grano ingresado y la cantidad de aceite obtenido en gramos (Vasco-Leal *et al.*, 2017).

El prensado es el método de extracción mecánica más antiguo utilizado para obtención de aceites vegetales de consumo humano. Del proceso de prensado, el contenido de aceite presente en la torta puede variar entre 7 al 15% (Ramírez- Hernández & Giraldo-Valderrama, 2017), pero en prensas modernas se logran reducir estas pérdidas. Por el método de extracción con solvente se obtiene un extracto etéreo menor al 1%. Al co-producto resultante de este proceso de extracción, se le denomina harina de higuierilla.

A nivel mundial, la torta y harina de higuierilla se emplean predominantemente como fertilizantes orgánicos, debido al alto contenido en materia orgánica que posee (86%), aunque los porcentajes de N, P y K (5.5; 2.5 y 1.5%) son bajos.

Por otro lado, posee un alto porcentaje de proteínas, lo que resulta de gran atractivo para la alimentación animal (Silitonga *et al.*, 2016), pero la presencia de principios tóxicos y alergénicos ha hecho poco viable esta alternativa (Goytia-Jimenez *et al.*, 2011; Fernandes *et al.*, 2012).

Determinación de ricina en torta de *Ricinus communis* L

La ricina es una proteína similar a la albúmina, de estructura heterodimérica, perteneciente a la familia tipo II de proteínas inactivadoras de ribosomas (RIBs) con un peso molecular de 66 kDa. Está compuesto por una enzima inhibidora de ribosomas (32 kDa, cadena A o RTA), unida a través de un enlace disulfuro a una lectina de unión a galactosa/N-acetil glucosamina (34 kDa, cadena B o RTB) (Yang *et al.*, 2023).

La ricina es una potente toxina celular de la semilla de la planta de ricino. Se concentra en el endospermo de la semilla y en menor medida en el resto de la planta (Audi *et al.* 2005). Según el Centro de Control de Enfermedades (CDC) de EE.UU., está considerada entre las proteínas más tóxicas.

La intoxicación por la toxina ricina (RT) depende de la vía de administración (Moshiri *et al.*, 2016). La inyección intramuscular causa dolor localizado intenso y necrosis de los ganglios linfáticos regionales. La inhalación induce dificultad respiratoria con lesiones pulmonares y de las vías respiratorias. La ingestión oral causa hemorragia gastrointestinal (GI) y necrosis del hígado, el bazo y los riñones (Moshiri *et al.*, 2016). Una dosis suficiente induce necrosis en el lugar de la inyección, así como necrosis linfoide local grave, hemorragia gastrointestinal, nefritis y esplenitis difusas y necrosis hepática.

Se han ensayado varios métodos para la detección de RT en tejidos y fluidos animales y vegetales. Entre ellos, uno de los más desarrollados consiste en una combinación de dos tipos de diagnóstico: uno inmunológico, basado en la prueba de inmuno -absorción ligada a enzimas (ELISA), que se ha convertido en un método muy confiable por la alta sensibilidad, debido al uso de anticuerpos monoclonales, que asegura la reproducibilidad del ensayo (Peraile-Muñoz *et al.*, 2017). El otro método se basa en la determinación de proteínas, mediante el empleo de la electroforesis en gel de poliacrilamida con dodecilsulfato de sodio (SDS-PAGE) en condiciones desnaturizantes (Manns, 2011; Ramos-Leal *et al.*, en prensa). Este método permite la separación de proteínas en función de su masa molecular. La presencia del detergente aniónico SDS en el tampón de migración, facilita la solubilización y desnaturización de las proteínas y la imposición de una carga neta negativa, que facilita la migración.

Otros análisis se basan en el empleo de técnicas de alta precisión. Entre ellas cromatografía Líquida/espectrometría de masa (LC/MS) y la desorción /ionización láser asistida por matriz y por el detector de tiempo de vuelo (MALDI-TOF por sus siglas en inglés), se han desarrollado para la identificación presuntiva de ricina y del alcaloide ricinina, a partir de material vegetal (Darby *et al.*, 2001). Igualmente se ha informado un método sensible y rápido, independiente de la presencia de anticuerpo, que emplea espectrometría de masa, para identificar ricina en fluidos corporales (Feldberg *et al.*, 2021).

Otra alternativa de análisis emplea un conjunto de técnicas que permiten caracterizar la ricina con materiales de referencia y comprende electroforesis en gel de poliacrilamida, ensayos de actividad biológica para evaluar la

capacidad de inhibir la síntesis proteica, la cuantificación de proteínas mediante análisis de aminoácidos, detección de ricina a través de un inmunoensayo usando citometría de flujo y finalmente detección del ADN genómico de la ricina mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), empleando hasta nueve juegos de cebadores (Kim *et al.*, 2006).

Algunos ensayos *in vitro* realizados sobre la ricina inmuno-reactiva en la sangre y la linfa de ratas tratadas, mostró que se absorbe en el intestino delgado en los tejidos y órganos a través de los sistemas circulatorios (linfático y sanguíneo) como ricina activa. La absorción en el tracto gastrointestinal, es mayoritariamente a través de la sangre, en lugar del sistema linfático. En otro estudio, tras la absorción, la ricina se detectó en el hígado y el bazo. La ricina encontrada en el hígado era predominantemente en forma de ricina intacta (Moshiri *et al.*, 2016).

Los métodos más utilizados para desintoxicar la torta de higuierilla son los procesos térmicos, químicos, enzimáticos, biológicos y combinados. Algunos autores informan el empleo por separado de métodos físicos y químicos como: esterilización por autoclaves (15 psi. por 60 min), tratamientos de calefacción (Audi *et al.* 2005), tratamientos con ácido tánico (10 g.kg⁻¹, por 8 horas), formaldehído (5 g.kg⁻¹, por 7 días) o cal por 40 g.kg⁻¹, durante 12 a 18 horas (Beltrão & de Oliveira, 2009; Ramírez- Hernández & Giraldo-Valderrama, 2017). Estos mismos autores informaron una eficiencia del 100% cuando se utilizó autoclave (15 psi a 123°C por 90 minutos) y una concentración hidróxido u óxido de calcio de 60 g.kg⁻¹ de harina o torta.

Se han evaluado otros métodos biológicos, como el uso de la fermentación en estado sólido a través de microorganismo fúngicos, por ejemplo, Godoy *et al.* (2012) utilizaron *Penicillium simplicissimum* (Oudem.) Thom, logrando la desintoxicación a las 72 horas, mientras que Fernandes *et al.* (2012) lo lograron a las 24 horas, pero utilizando el hongo *Aspergillus niger* Tiegh.

ACTIVIDAD NEMATOCIDA E INSECTICIDA

En la agricultura mundial las pérdidas por causadas por las más 4100 especies de nematodos fitoparásitos están estimadas entre un 12-20% de la producción (Mesa-Valle *et al.*, 2020), lo cual representa aproximadamente unos €125 billones de euros anuales. Para la higuierilla, la actividad nematocida está asociada a la presencia de algunos metabolitos, como la proteína ricina, que son utilizados como nematocidas para el control de plagas en los cultivos (Falasca *et al.* 2012). No existe evidencia científica precisa, de cuál es el compuesto químico al que se le puede asociar completamente esta bioactividad. Los extractos cetónicos obtenidos a partir de semillas mostraron la mayor actividad nematocida sobre el nematodo barrenador *Radopholus similis* (Cobb) Thorne.

En el año 2017, se realizó un diagnóstico previo en Cuba, que comprobó la presencia en el cultivo Sacha Inchi del nematodo *Meloidogyne arenaria* (Rodríguez-Hernández & Hernández-Ochandía, 2020). Otros nematodos informados posteriormente, resultaron afectados por el efecto causado por la higuierilla, al crecerlos en condiciones de asociación, intercalados con Sacha Inchi (Montero-Álvarez *et al.*, sometido). El empleo de la higuierilla intercalada o en asociación con Sacha Inchi, puede disminuir los daños ocasionados por estos nematodos parasíticos.

Con relación a la actividad insecticida, varios trabajos se refieren a esta capacidad. Álvarez-Montes de Oca *et al.* (1996) observaron una mortalidad sobre poblaciones de mosca doméstica, al ser expuestas a un extracto que contenía una lectina aislada de higuierilla. Se apreció, además, una disminución altamente significativa en el desarrollo pupal en presencia del extracto lo que puso de manifiesto su actividad insecticida.

Díaz & Jiménez (2014) determinaron la efectividad *in vitro* de un formulado a base de hojas pulverizadas de higuiereta para el control de los coleópteros *Sitophilus oryzae* L. y *Callosobruchus chinensis* L. Los resultados no fueron totalmente concluyentes, pues no tuvieron acción insecticida sobre los adultos de *Sitophilus oryzae*. Por su parte Roldán *et al.*, (2015) evaluaron el efecto repelente del aceite del endospermo de higuiereta frente al mosquito *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae), determinando que el aceite del endospermo de higuiereta tuvo actividad repelente a las concentraciones de 10, 100 y 1000 ppm.

Sin embargo, existen otros trabajos que al parecer contradicen la posible actividad insecticida. Es conocido que la planta de higuierilla suele ser un reservorio de muchos insectos que actúan como enemigos naturales de otros insectos. Como ejemplo de esto, Canales & León (2015) lograron una producción masiva de ácaros del género *Tetranychus* sp., infestando plantas de higuierilla, previamente plantadas, donde se estableció un equilibrio entre plaga y depredador. Esto produce una situación contradictoria con respecto a la actividad insecticida previamente descrita.

AGRADECIMIENTOS

MRL desea agradecer al Dr. Jaco Vangronsveld de la Universidad de Hasselt, Bélgica, por su colaboración en algunas búsquedas bibliográficas. También al Especialista Jorge L. Rodríguez-Tapia, del Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical (IIFT) de Cuba por su colaboración en aspectos relacionados con la actividad insecticida de la higuierilla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez-Montes de Oca, D.M. dIFJL, Villarrubia- Montes de Oca, O.L., Menéndez de San Pedro, J.C. & Ortiz-Losada, E. 1996. Actividad biológica de *Ricinus communis* L. sobre mosca doméstica (*Musca domestica*). Rev Cubana Med Trop 48 (3):192-4.
- Amorim- Neto, M. da S. dSM, Araujo, A.E., & Beltrão, N.E. de M. 2001. Clima e solo. O agronegocio da mamona no Brasil EmbrapaAlgodão. Embrapa Informação Tecnológica: 63-75.
- Angelova, V. & Nemska, M.P. 2020. Phytoremediation potential of castor bean (*Ricinus communis* L.). Acta Scientific Agriculture 4 (9) (ISSN: 2581-365X). <https://doi.org/10.31080/ASAG.2020.04.0893>
- Arboleda, F.dJ., Guzmán, Ó.A. & Mejía L.F. 2012. Efecto de extractos cetónicos de higuierilla (*ricinus communis* linneo.) sobre el nematodo barrenador [*Radopholus similis* (Cobb.) Thorne] en condiciones *in vitro*. Luna Azul. 35:28-47 1909-2474.
- Audi, J., Belson, M., Patel, M., Schier, J. & Osterloh, J. 2005. Ricin poisoning: a comprehensive review. Jama. 294(18):2342-51. <https://doi.org/10.1001/jama.294.18.2342>
- Azevedo, D.M.P. & Lima, E.F. 2001. O agronegócio da mamona no Brasil. Campina Grande: Embrapa Informação Tecnológica. ISSN 0103-0205
- Balali-Mood, M. & Moshiri, M. 2015. Problems of clinical diagnosis and management of a deliberate biological born disease. J. Bioterror. Biodef. 6:e113. <https://doi.org/10.4172/2157-2526.1000e113>
- Barrios, E., Zamarripa, C., Canul, K., Hernández, A., Alarcón, C. & Chepetla, C. 2013. Evaluación de materiales élite de higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Morelos. Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 1(2):27-32.
- Beltrão, N.E. de M., Silva do Vale, L., Façanha- Marques, L., Cardoso & G.D., Silva-Souto J. 2010. Consórcio mamona e amendoim: opção para a agricultura familiar. Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil) 5(4):222-227. ISSN 1981-8203. <http://revista.gvaa.com.br>
- Beltrão, N.E. de M. & de Oliveira, M.I.P. 2009. Detoxicação e aplicações da torta de mamona. Embrapa Algodão. Documentos, 217: 35 p. ISSN 0103-0205 <http://www.cnpa.embrapa.br>
- Benavides, A., Benjumea, P. & Pashova, V. 2007. El biodiesel de aceite de higuierilla como combustible alternativo para motores diesel. Dyna. 74(153):141-50. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co>
- Blair C.; Pérez, M.C.; Yáñez, S., Ruiz, A. 2016 Guía Técnica para el cultivo y producción de Sacha Inchi. La Habana, Cuba. Editora Federico Engels. ISBN 978-959-01-1016-0
- Canales, A. & León, C. Producción masiva de *Stethorus* spp. para el control de *Panonychus citri* Mc Gregor: araña roja de los cítricos. SENASA (Servicio Nac Sanidad Agraria, La Molina, Perú
- Carlsson, A.S. 2009. Plant oils as feedstock alternatives to petroleum—A short survey of potential oil crop platforms. Biochimie. 91(6):665-70 <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2009.01008>
- Carrino L., Visconti, D., Fiorentino, N. & Fagnano, M. 2020. Biofuel production with castor bean: a win-win strategy for marginal land. *Agronomy* 10(11) 1690. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111690>
- Céspedes, C.L., Alarcón, J., Aranda E., Becerra, J. & Silva, M. 2001. Insect growth regulator and insecticidal activity of β -dihydroagarofurans from *Maytenus* spp. (Celastraceae). Zeitschrift für Naturforschung C. 56(7-8):603-13.
- Córdoba-Gaona, OdJ. 2013. Comportamiento ecofisiológico de variedades de higuierilla (*Ricinus communis* L.) para la producción sostenible de aceite y biodiesel en diferentes agroecosistemas colombianos. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Doctor en Ciencias Agropecuarias. Univ. Nacional de Colombia.
- CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). 2008. Higuierilla: Alternativa productiva, energética y agroindustrial para Colombia. CORPOICA 38.
- Darby, S.M., Miller, M.L. & Allen, R.O. 2001. Forensic determination of ricin and the alkaloid marker ricinine from castor bean extracts. J. Forensic Sciences. 46(5):1033-42 %@ 0022-1198.
- Di Mola, I., Ventorino, V., Cozzolino, E., Ottaiano, L., Romano, I., Duri, LG., Olimpia, P. & Mauro, M. 2021. Biodegradable mulching vs traditional polyethylene film for sustainable solarization: Chemical properties and microbial community response to soil management. Applied Soil Ecology 163: 103921
- Díaz, M. & Jiménez, R. 2014. Efectividad de dos formulados a base de *Ricinus communis* L. (higuereta) y *Piper auritum* Kunth (caisimón de anís) *in vitro* para el control de *Sitophilus oryzae* L. y *Callosobruchus chinensis* L. Lab. Prov. Sanidad Vegetal Cienfuegos, Cuba.
- Falasca, S.L., Ulberich, A.C. & Ulberich, E. 2012. Developing an agro-climatic zoning model to determine potential production areas for castor bean (*Ricinus communis* L.). Industrial Crops and products. 40:185-91 ISSN 0926-6690.
- FAO (Food and Agriculture Organisation, Roma). 2004. Castor bean in the word: FAOSTAT Database. Disponible en <http://faostat.fao.org/faostat/form?collection=Production.Crops.Primary&Domain=Production&servlet=1&hasbulk=0&version=ext&language=EN>.

- Feldberg, L., Elhanany, E., Laskar, O., Schuster, O. 2021. Rapid, sensitive and reliable ricin identification in serum samples using LC–MS/MS. *Toxins*. 13(2):79.
- Fernandes, K., Deus, D.O.N., Godoy, M.G., Guimarães, Z.A.S., Nascimento, V.V., De Melo, E.J.T. *et al.* 2012. Simultaneous allergen inactivation and detoxification of castor bean cake by treatment with calcium compounds. *Braz J. Med Biol Res*. 45(11):1002-10.
- Ferreira, G.B., Beltrão, N.E. de M., Severino, L.S., Gondim, T.M. de S. & Pedrosa, M.B. 2006. A Cultura da Mamona no Cerrado: Riscos e Oportunidades. Embrapa Algodão. Documentos, 149: 70 p. ISSN 0103-0205 <http://www.cnpa.embrapa.br>
- Godoy, M.G., Machado, O.L.T., Roussos, S. & Freire, D.M.G. 2012. Degradation of phorbol esters of *Jatropha curcas* cake by solid-state fermentation and simultaneous lipase production. *New Biotechnology*. (29):S209.
- Goytia-Jiménez M.A., Gallegos-Goytia C.H. & Núñez-Colín C.A. 2011. Relación entre variables climáticas con la morfología y contenido de aceite de semillas de higuierilla (*Ricinus communis* L.) de Chiapas. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*. 17(1):41-8 ISSN 2007-4018.
- Huertas, K. & Sánchez, I.A. 2012. Obtención y caracterización de biodiesel a partir de aceite de semillas de *Ricinus communis*. (Higuierilla) modificadas genéticamente y cultivadas en el Eje Cafétero. Repositorio Univ. Tecnológica de Pereira.
- Huibo Z, Yong Z, Rui L, Guorui L, Jianjun D, Qi W, *et al.* 2023. Analysis of the mechanism of *Ricinus communis* L. tolerance to Cd metal based on proteomics and metabolomics. *Plos One* 18(3): e0272750. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272750>
- Kim, S.K., Hancock, D.K., Wang, L., Cole, K.D., & Reddy, P.T. 2006. Methods to characterize ricin for the development of reference materials. *J. Research of the Natl. Instit. Stand. Technol.* 111 (4):313-324. <http://www.nist.gov/jres>
- Kiran, B.D., & Prasad, M.N.V. 2017. *Ricinus communis* L. (Castor bean), a potential multi-purpose environmental crop for improved and integrated phytoremediation. *Review. The European Biotech J.* 1(2):101-116 <https://doi.org/10.24190/ISSN2564-15X/2017/02.01>
- Kouri J, Ferreira- Dos Santos, R. & Lemos BMA. 2006. Cultivo da mamona–importancia económica. Embrapa Algodão–sistemas de producao (versao electrónica). <http://www.cnpa.embrapa.br>
- Lafont, J.J., Espitia, A.A. & Páez, M.S. 2019. Estudio físico-químico del aceite y análisis proximal de la torta de semillas oleaginosas nativas de Córdoba-Colombia. *Información tecnológica* 30 (4): *On-line* ISSN 0718-0764.
- Llaven-Valencia, G., Borbón-Gracia, A., Ochoa-Espinosa, X.M., Antuna-Grijalva, O., Hernández-Hernández, A. & Coyal-Rodríguez, J.L. 2019. Productividad de higuierilla (*Ricinus communis* L.) en el norte de Sinaloa. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 10 (5):1011-1022. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10.5.1790>
- Maciel-Torres, S.P., Figueroa-Viramontes, U., Jacobo-Salcedo, M.R., Trejo-Calzada, R., Pedroza-Sandoval, A. & Encerrado-Alva, R.C. 2020. Disponibilidad de nitrógeno y rendimiento de biomasa de *Ricinus communis* L. fertilizado con biosólidos. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 11 (8): <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2082>
- McGovern, R.J. & McSorley, R. 2018. Physical methods of soil sterilization for disease management including soil solarization. In *Environmentally safe approaches to crop disease control*: 283-314 Edit. CRC Press
- Maldonado-Santoyo, M. & Morales-López, G. 2022. Análisis químico y nutricional en hojas de *Ricinus communis*. *Rev. Cub. Quim.* 34 (1), Santiago de Cuba.
- Manns, J.M. 2011. SDS-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) of proteins. *Current protocols in microbiology*. 22(1):A. 3M. 1-A. 3M. 13.
- Melchor-Martinez, M.R. 2013. Producción de biodiesel a través de la extracción de aceite de Higuierilla. (LF Olmos, Ed.) Zaragoza, México: Benemérita Universidad de Puebla, México. <https://es.slideshare.net/1Rosario/produccion-debiodiesel-a-travs-de-la-extrccin-de-aceiee-de-higuerilla-23895991>
- Mesa-Valle, C.M., Garrido-Cárdenas, J.A., Cebrián-Carmona, J., Talavera, M., Manzano-Agugliaro, F. 2020. Global research on plant nematodes. *Agronomy* 10(8):1148. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081148>
- Moshiri, M., Hamid, F. & Eternad, L. 2016. Ricin toxicity: Clinical and molecular aspects. *Reports of Biochemistry & Molecular Biology*. 4 (2): Review.
- Mutlu, H. & Meier, M.A.R. 2010. Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. *European J. of Lipid Science and Technology*. 112(1):10-30. <http://dx.doi.org/10.1002/ejlt.200900138>
- Olivares, A.R., Carrillo-González, R., González-Chávez, M.d.C.A. & Hernández, R.M.S. 2013. Potential of castor bean (*Ricinus communis* L.) for phytoremediation of mine tailings and oil production. *Journal of Environmental Management*. 114:316-23 %@ 0301-4797.
- Orlando-López, J.F., Zambrano-Bazurto, L.A., Zambrano- Gavilanes, F. 2022. El cultivo de la higuierilla (*Ricinus communis* L.) y su situación actual en el Ecuador. *PAIDEIA XXI* 12 (2):373-390. Lima, <http://revistas.urp.edu.pe/index.php/Paideia>
- Osorio- González C.S., Gómez, N., Sandoval, F., Saini, R., Brar, S.K. & Avalos, A. 2020. Production of biodiesel from castor oil: A Review. *Energies* 13 (10), 2467; <https://doi.org/10.3390/en13102467>

- Peraile-Muñoz, I. Lorenzo-Lozano, P., Gil- García, M., González- López, L., Cabria- Ramos, J.C. & Jiménez- Pérez, M.V. 2017. Protocolo para la identificación rápida y sensible de ricina en muestras ambientales ante una alerta biológica. *Sanidad mil.* 73 (3): :153-7. ISSN: 1887-8571
- Ramírez-Hernández, I.C. & Giraldo-Valderrama, L.A. 2017. Evaluación de suplementos alimenticios conteniendo torta de higuierilla sobre la degradación in situ de dietas con pasto kikuyo y la producción lechera en vacas Holstein. *Rev. CES Med. Vet. Zoot.* Vol 12 (2):103-122. <http://x.doi.org/10.21615/cesmvz.12.2.3> ISSN 1900-9607
- Ramos-Leal, M., Villanueva- Domínguez, M., Montero-Alvarez, K., García, S., Canales-López, E. & Rodríguez M. 2024. Determination of ricin toxin in castor bean (*Ricinius communis* L.) cake samples. (Technical Report). *Tropical Plant Research* <https://doi.org/10...tpr.2024...v>
- Raya-Pérez, J.C., Ramírez-Pimentel, J. G., Covarrubias-Prieto, J., Chablé-Moreno F. & Aguirre-Mancilla, C. L. 2016. Manejo agronómico de la higuierilla (*Ricinus communis* L.). *Rev. Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica* 4 (21):
- Rodríguez -Hernández, M.G. & Hernández-Ochandía, D. 2020. Nuevos hospedantes de *Meloidogyne* spp. para Cuba. *Revista de Protección Vegetal.* 35(1):
- Roldán, J., Morales, R. & Otiniano, G. 2015. Efecto repelente del aceite del endospermo de *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) en *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae), bajo condiciones experimentales. *REBIOL* 35(1): 82-90
- Rudolph, R.E., Sams, C., Steiner, R., Thomas, S.H., Walker, S. & Uchanski, M.E. 2015. Biofumigation performance of four Brassica crops in a green Chile pepper (*Capsicum annuum*) rotation system in Southern New Mexico. *HortScience* 50 (2): 247–253. <https://doi.org10.21273/hortsci.50.2.247>
- Rueda- Vera, J. 2018. Revisión bibliográfica de los impactos ambientales asociados a la obtención de aceite de higuierilla evaluados mediante la metodología de análisis de ciclo de vida. Tesis en opción al título de Ingeniería Ambiental. Repositorio Univ. Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)
- Sayegh- Ordoñez, A.N. & Cárdenas- Arias, L.G. 2011. Plan de empresa basado en el uso del aceite de higuierilla para la industria cosmética. Tesis en opción al título de Ingeniero. Univ. Icesi, Colombia. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2935555>
- Silitonga, A.S., Masjuki, H.H., Ong, H.C., Yusaf, T., Kusumo, F. & Mahlia, T.M.I. 2016. Synthesis and optimization of *Hevea brasiliensis* and *Ricinus communis* as feedstock for biodiesel production: A comparative study. *Industrial Crops and Products.* 85:274-86.
- Suhono, G.B.F., Siddique, K.H.M., Chen, Y., Jiang, M.Y. & Li, Y. 2021. Shoot and root growth of castor bean (*Ricinus communis*) in response to soil salinity. *Amer. Soc. of Plant Biologists Worldwide Summit 2021, USA.* <https://plantbiology.aspb.org/>
- Vasco-Leal J.F. H-R, Méndez-Gallegos S. de J., Ventura-Ramos E., & Cuellar-Núñez M.L., Mosquera-Artamonov J.D. 2017. Relación entre la composición química de la semilla y la calidad de aceite de doce accesiones de *Ricinus communis* L. *Rev Mexic CiencAgríc.* 8(6).
- Vibrans H. 2009. Malezas de México. Sitio web Malezas de México. <http://www.conabio.org.gob.mx/malezasdemexico/euphorbiaceae/ricinuscommunis/fichas/ficha.html>
- Yang, Z., Wang, C., Liu, J., Xiao, L., Guo, L. & Xie, J. 2023. *In silico-ex vitro* iteration strategy for affinity maturation of anti-ricin peptides and the SPR biosensing application. *Toxins* 15(8): 490. <https://doi.org/10.3390/toxins15080490>
- Yeboah, A., Lu, J., Yang T., Shi, Y., Amoanimaa-Dede, H., Boateng, K.G.A. & Yin, X. 2020. Assessment of castor plant (*Ricinus communis* L.) tolerance to heavy metal stress. *Review. Phytion-International J. of Experimental Botany* 89 (3): <https://doi.org/10.32604/phyton.2020.09267>
- Zheng, J., Suhono, G.B.F., Li, Y., Jiang, M.Y., Chen Y., Siddique, K.H.M. 2021. Salt-Tolerance in Castor Bean (*Ricinus communis* L.) is associated with thicker roots and better tissue K⁺/Na⁺ distribution. *Agriculture* 11(9), 821; <https://doi.org/10.3390/agriculture11090821>

Los autores declaran que no existen conflictos de interes