

Extracto acuoso de *Eucalyptus globulus* Labill. en la germinación y desarrollo de cultivos andinos: un estudio de alelopatía en Cusco, Perú

Aqueous extract of *Eucalyptus globulus* Labill. in the germination and development of Andean crops: a study of allelopathy in Cusco, Perú

Juan Eduardo Gil-Mora^{1,*} y Stephanie M. Casas-Toribio²

Recibido: 06 abril 2023 | **Aceptado:** 08 junio 2023 | **Publicado en línea:** 07 julio 2023

Citación: Gil-Mora, JE; Casas-Toribio, SM. 2023. Extracto acuoso de *Eucalyptus globulus* Labill. en la germinación y desarrollo de cultivos andinos: un estudio de alelopatía en Cusco, Perú. Revista Forestal del Perú 38(1): 60-80. DOI: <https://doi.org/10.21704/rfp.v38i1.1596>

Resumen

La alelopatía se define como el efecto perjudicial que una planta ocasiona a otra a través de compuestos químicos que son liberados al medio; en Perú la especie más utilizada en plantaciones es el *Eucalyptus globulus* Labill.; a pesar de la reconocida utilidad para diversos usos en la zona andina; durante las últimas décadas existen críticas basadas en argumentos científicos, ecológicos y emocionales, que sostienen que el eucalipto deteriora el suelo y fuentes de agua; considerando estas aseveraciones se evaluó la alelopatía mediante bioensayos con extracto acuoso de eucalipto provenientes de plantaciones en cuatro provincias del Cusco: Anta, Calca, Cusco y Quispicanchis; mediante ensayos de alelopatía efectuados con extracto acuoso de hojas, ramas tiernas y frutos de eucalipto en la germinación y crecimiento de las plántulas de *Amaranthus caudatus* L. (kiwicha), *Chenopodium quinoa* Willd. (quinua), *Hordeum vulgare* L. (cebada), *Vicia faba* L. (haba) y *Zea mays* Vell. (maíz) y llevados a cabo a concentraciones de 10; 25; 50; 100 y, 1,000 mg/L y para el ensayo testigo se utilizó agua destilada; para el análisis de la información obtenida sobre alelopatía, se utilizó el software TREND, utilizando tres métodos de tendencia: T de Student, prueba de Spearman y la regresión lineal. Las concentraciones a las que se sometieron las cinco especies de cultivos andinos no inhibieron la germinación de las semillas, ni el desarrollo de las plántulas, tampoco afectaron la longitud y peso respecto del testigo; por lo tanto, se colige que, el extracto acuoso del eucalipto no inhibe el desarrollo de las monocotiledóneas (maíz y cebada), tampoco a las dicotiledóneas (haba, quinua y kiwicha). Consecuentemente, los efectos alelopáticos que genera el eucalipto en cultivos de haba, maíz, cebada, quinua y, kiwicha son nulos en los bioensayos a diferentes concentraciones con extracto acuoso, no ocasionando efectos alelopáticos que puedan inhibir la germinación de

¹ Escuela de Posgrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Perú.

³ Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Andina del Cusco, Perú.

* Autor de Correspondencia: mundoandino2005@yahoo.es

las semillas ni el crecimiento de las plántulas, por lo que se concluye que el *Eucalyptus globulus* no produce alelopatía. En Perú y Cusco se ha utilizado *E. globulus* para reforestación y por ello es importante conocer el impacto ecológico que sus aleloquímicos tienen sobre el suelo puesto que pueden afectar a la flora y fauna nativas.

Palabras clave: aleloquímico, bioensayo, eucalipto, germinación, plántula

Abstract

Allelopathy is defined as the detrimental effect that one plant causes to another through chemical compounds that are released into the environment; in Peru, the most used species in plantations is *Eucalyptus globulus* Labill.; despite the recognized utility for various uses in the Andean zone; during the last decades there have been criticisms based on scientific, ecological and emotional arguments, which maintain that eucalyptus deteriorates the soil and water sources; considering these assertions, allelopathy was evaluated through bioassays with aqueous extract of eucalyptus from plantations in four provinces of Cusco: Anta, Calca, Cusco y Quispicanchi; through allelopathy tests carried out with aqueous extract of leaves, tender branches and fruits of *Eucalyptus* in the germination and growth of seedlings of *Amaranthus caudatus* L. (kiwicha), *Chenopodium quinoa* Willd. (quinua), *Hordeum vulgare* L. (cebada), *Vicia faba* L. (haba) and *Zea mays* Vell. and carried out at concentrations of 10; 25; 50; 100 and 1000 mg/L and for the control test, distilled water was used; for the analysis of the information obtained on allelopathy, the TREND software was used, using three trend methods: Student's T test, Spearman's test and linear regression. The concentrations to which the five species of Andean crops were subjected did not inhibit the germination of the seeds, nor the development of the seedlings, nor did they affect the length and weight with respect to the control; therefore, it is inferred that the aqueous extract of eucalyptus does not inhibit the development of monocots (corn and barley), nor does it inhibit dicots (broad bean, quinoa and kiwicha). Consequently, the allelopathic effects generated by eucalyptus in crops of broad bean, corn, barley, quinoa and kiwicha are null in bioassays at different concentrations with aqueous extract, not causing allelopathic effects that can inhibit seed germination or plant growth. Seedlings, so it is concluded that *Eucalyptus globulus* does not produce allelopathy. In Peru and Cusco, *E. globulus* has been used for reforestation and therefore it is important to know the ecological impact that its allelochemicals have on the soil, since they can affect native flora and fauna..

Key words: allelochemical, bioassay, eucalyptus, germination, seedling

Introducción

Respecto de ensayos sobre alelopatía, fueron efectuados diversos estudios, es el caso de Ferreira *et al.* (2020), que evaluaron el efecto alelopático de los compuestos presentes en el brote y la raíz de *Conyza sumatrensis* (Retz.) E. Walker sobre la germinación de *Bidens pilosa* L., y cuantificaron los compuestos fenólicos presentes en los extractos de los brotes y la raíz de *C. sumatrensis*. Los tratamientos implementados consistieron en extractos acuosos a concentraciones de 0, 1, 5 y 10 % (p/v); para el tratamiento cero utilizaron sólo agua destilada. Los resultados evidencian que los extractos del

brote de *C. sumatrensis* tuvieron un efecto más expresivo sobre la germinación de las semillas en comparación con los extractos obtenidos de la raíz. En la concentración de 10 %, el extracto del brote redujo en 83 % el porcentaje de germinación; esta reducción, lo relacionan con una mayor concentración de flavonoides y fenoles totales encontrados, lo que indica que el potencial alelopático del extracto de brotes y raíz de *C. sumatrensis* inhibieron y/o redujeron la germinación de *B. pilosa*. De otro lado, Barbosa *et al.* (2018), evaluaron el efecto alelopático del extracto de *Pachyrhizus erosus* (L.) Urb. sobre germinación de *Euphorbia hetero-*

phylla L. y *Bidens pilosa*. Las variables evaluadas fueron porcentaje de germinación, germinación velocidad de germinación y la biomasa seca, los resultados muestran que hubo una reducción del 18% y del 92% en la germinación de *E. heterophylla* y *B. pilosa*, respectivamente, concluyéndose que los extractos preparados con *P. erosus* tienen efecto alelopático sobre las especies evaluadas.

Sánchez *et al.* (2020), investigaron el efecto alelopático de un extracto acuoso de *Sorghum halepense* (L.) Pers. sobre dos arvenses dicotiledóneas *Amaranthus dubius* Mart. y de *Euphorbia heterophylla* en pre y post emergencia. Los tratamientos empleados fueron de 0, 40, 60, 80 y 100 g de rizomas fraccionados de la planta *S. halepense* en 2 kg de suelo. Los residuos de *Sorghum halepense* ocasionaron efecto inhibitorio en la germinación y sobrevivencia de *Euphorbia heterophylla*, en pre y post emergencia, redujeron la radícula en post emergencia y estimularon el hipocótilo en pre emergencia, mientras que sobre *A. dubius* manifestaron acción inhibitoria en el porcentaje de germinación y sobrevivencia y disminuyeron la longitud del hipocótilo tanto en pre como en post emergencia.

Alves *et al.* (2019) evaluaron la posible influencia alelopática de las hojas secas en el proceso de descomposición de *Libidibia ferrea* Mart. en el desarrollo de plántulas de frijol caupí, cv. canapu. Se evaluó la altura de las plántulas y la longitud de las raíces, la masa seca de la parte aérea del sistema radicular y el total de plántulas normales fueron evaluadas. Los resultados arrojaron que el periodo de 30 días de descomposición provoca una reducción de la longitud de la parte aérea, de la masa seca de la parte aérea, en el sistema radicular y en el total de las plántulas.

Los estudios citados están vinculados a estudios sobre alelopatía desarrollados en ensayos demostrativos que evidencian la inhibición de extractos acuosos de diversas partes de especies utilizadas para frenar el crecimiento de especies arvenses; no obstante, ninguno de los estudios está referido a ensayos con extractos

de eucalipto proveniente de plantaciones; sin embargo, se incluyen debido a que constituyen ensayos referentes a un tema materia de análisis en la presente investigación: la alelopatía.

De acuerdo con Binkley y Stape (2004), la madera de eucalipto es utilizada para obtener leña, carbón, ebanistería, tableros, ventanas, madera estructural, puntales para minería, siendo la industria papelera, la principal demanda. El *Eucalyptus globulus* Labill. tiene la capacidad de rebrotar, lo que permite varios cortes sucesivos sin necesidad de volver a plantar; por ello, se suele realizar cortes cada 10 o 14 años.

Las especies del género *Eucalyptus* han sido observadas como especies alelopáticas, señalando que producen y liberan sustancias que inhiben el crecimiento de otras plantas en condiciones de cultivo. No obstante, la alelopatía del eucalipto ha sido declarada de poca importancia (De Lima 1993, Shrivastava y Lal 1989, Sanginga y Swift 1992). Otros estudios señalan que el efecto nocivo es atribuido a competencia directa por luz, agua y nutrientes; otros señalan a la alelopatía como responsable; son pocos los casos que demuestran concluyentemente si la competencia o la alelopatía o ambas causan los efectos nocivos (Bará *et al.* 1985). De otro lado, los estudios de Suresh y Rai (1987), señalan que los efectos adversos no se atribuyen irrefutablemente a la alelopatía, tampoco puede excluirse su posible papel inhibitorio. Ningún estudio señala fehacientemente todos los tipos de evidencia para demostrar la alelopatía del eucalipto, pues las especies afectadas y el grado de afectación es muy variable, además, es evidente que la capacidad alelopática varía de acuerdo a la especie de eucalipto. En algunas especies los efectos alelopáticos potenciales no se han detectado o son débiles, mientras que en otras especies son notorias (Lisanewok y Michelsen 1993).

Las afirmaciones populares sobre la alelopatía de eucaliptos: las plantaciones producen desiertos verdes”, “envenenan el suelo para otras plantas”, “agotan los nutrimentos del suelo”, “extraen demasiada agua”, pueden ser ver-

dades sin confirmar que no se pueden aplicar a todas las especies de eucalipto en todas las condiciones ambientales en las que se cultivan; tampoco se infiere que los efectos alelopáticos y su magnitud son generales sobre todas las especies vegetales. Según Catalán *et al.* (2013), el eucalipto contribuye al deterioro de los suelos y de las fuentes de agua donde son cultivados; sostienen que son perjudiciales para los ecosistemas desde un punto de vista ecológico; no controlan la erosión, puesto que secan el suelo y reducen la microflora del mismo.

La alelopatía se define como el efecto perjudicial que una planta ocasiona a otra a través de compuestos químicos que son liberados al medio (Rice 1974). La alelopatía produce efectos importantes en la composición de las comunidades vegetales, en la sucesión de las especies o en la productividad vegetal; sin embargo, existe una gran diferencia entre alelopatía y los mecanismos competitivos propios de la ecología (Muller 1969); la primera añade al medio sustancias químicas inhibitorias, los mecanismos competitivos alteran factores como luz, oxígeno, nutrientes, agua, etc. Rice (1984), define como cualquier efecto, estimulador o inhibitorio, directo o indirecto causado por una especie sobre otra a través de la producción de compuestos químicos.

Según Ashton y Willis (1982), los compuestos alelopáticos son liberados de las plantas por cuatro caminos diferentes: descomposición de los restos vegetales en el suelo, liberación de compuestos volátiles, lixiviación por el agua de lluvia y exudación por las raíces; por tanto, los efectos alelopáticos son influenciados por factores ambientales como temperatura, lluvia y características del suelo como propiedades físicas, microbiología, etc. De otro lado, la alelopatía es un fenómeno biológico por el cual un organismo produce uno o más compuestos bioquímicos que influyen en el crecimiento, supervivencia o reproducción de otros organismos; estos compuestos conocidos como aleloquímicos pueden producir efectos benéficos (alelopatía positiva) o perjudiciales (alelopatía negativa) a los organismos receptores (Sivagurunathan *et al.* 1997); por lo tanto, el

estudio del fenómeno alelopático es complejo, pues existen diversos factores involucrados, especialmente cuando de sistemas vivos se trata, consecuentemente, se requiere diversas técnicas instrumentales (Bastidas 2008).

El fenómeno de la alelopatía fue definido por Molisch (1937), citado por Rice (1974), como el proceso en el que una planta desprende al entorno, compuestos químicos que inhiben el crecimiento de otra que vive en el mismo hábitat o en un hábitat cercano. Florence (1986), indica que los eucaliptos compiten, asimétricamente a su favor, por agua y nutrientes cuando se encuentran asociados a otras especies, especialmente por agua dependiendo del nivel de precipitación pluvial, es el caso de la región sudeste de Brasil (1,300 mm de precipitación anual), Florence (1986) encontró que varias variedades de frijol tuvieron un mayor rendimiento, que el promedio de la región, cuando se cultivaron en una plantación de *Eucalyptus camaldulensis* de tres años de edad durante el periodo de lluvias. En India, Grewal (1995), halló resultados similares.

Durante muchos años la investigación en alelopatía se centró en el estudio de los efectos en los cultivos de cobertura alelopáticos, su intercalado, la aplicación de extractos de plantas sobre el rendimiento de cosechas y la eliminación de arvenses en condiciones de campo (Molisch 1937, Putnam y Tang 1986, Weston 1996, Kocacaliskan y Terzi 2001, Vyvyan 2002). Últimamente ha habido una creciente atención hacia el estudio de la alelopatía como una estrategia alternativa para el control principalmente de arvenses, pero también de insectos y enfermedades (Einhellig 1995, Fomsgaard *et al.* 2001, Vyvyan 2002). La bioactividad del aceite esencial de *Eucalyptus* depende del tipo y la naturaleza de los constituyentes y de su concentración individual (Batish *et al.* 2008).

El eucalipto produce hojarasca continuamente y la biodegradación es más lenta que la hojarasca de otras especies (Toky y Singh 1993); consecuentemente, se espera que una plantación de eucalipto produce aleloquímicos continuamente. De acuerdo con Molina *et*

al. (1991), muchos de estos aleloquímicos son muy solubles en agua y pueden concentrarse en el suelo cuando llueve poco o no llueve; consecuentemente, se deduce que las lluvias fuertes iniciales de la temporada y las subsecuentes lavarán estos aleloquímicos (May y Ash 1990) y dejarán sólo los aleloquímicos que se retienen en las capas superficiales del suelo y pueden interferir la germinación y crecimiento de varias especies cultivadas; por ejemplo, suelo de plantaciones de *E. citridora* Hook., *E. globulus* (Molina *et al.* 1991), *E. tereticornis* Sm.; *E. grandis* W. Mill ex Maiden, *E. urophylla* S. T. Blake (Kohli *et al.* 1998, Singh y Kohli 1992); evidentemente, la cantidad de aleloquímicos retenida variará con el tipo de suelo. May y Ash (1990), utilizaron suelo donde creció eucalipto, concluyendo que no produjo inhibición en sus plantas experimentales; esto fue atribuido a la actividad de la edafobiota especializada en degradación de aleloquímicos de eucalipto.

Un aspecto de interés en ensayos de alelopatía es la aplicación de hojarasca de eucalipto en cultivos, al respecto, Tomar *et al.* (1992) aplicaron 4 ton/ha de hojas secas de *Eucalyptus tereticornis*, en surcos y después de la siembra de trigo y maíz; los rendimientos fueron iguales o mayores que los obtenidos en suelo sin hojas de eucalipto. Igualmente, en cultivos perennes, se ha demostrado que algunos eucaliptos son más eficientes que otras especies de árboles compitiendo con cultivos anuales; por ejemplo, el rendimiento de maíz, sorgo y garbanzo se ve reducido si se cultivan entre *Casuarina equisetifolia* L., *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit y *Eucalyptus tereticornis*. Sin embargo, la reducción de rendimiento es mayor bajo la influencia de *E. tereticornis* (Rai y Suresh 1988).

Según varios estudios, las hojas y cortezas de los eucaliptos contienen ácidos fenólicos, flavonoides y taninos (Hillis 1966, 1967; Okamura *et al.* 1993; Souto *et al.* 1994, 1995). Las hojas contienen aleloquímicos como cineol, limoneno, pinenos y felandrenos (Del Moral y Müller 1969, Nishimura *et al.* 1984, Barton *et al.* 1989; Kokumai *et al.* 1991). Estas sustancias, particularmente ácidos fenólicos y monoterpenos han mostrado ser tóxicas in vitro contra varias es-

pecies de plantas (Singh *et al.* 1991, Souto *et al.* 1995); de otro lado, algunos bioensayos muestran que extractos o lixiviados de hojas, corteza, hojarasca y semillas de eucalipto contienen aleloquímicos que inhiben a varias especies de plantas. La conclusión de estos estudios es que las especies de eucalipto ensayadas tienen sustancias que afectan, en diferentes grados, el crecimiento y la germinación de semillas, dependiendo de la concentración de los extractos o lixiviados. En general, la inhibición se incrementa con la concentración de las sustancias obtenidas de las partes del eucalipto (May y Ash 1990, Kohli y Singh 1991, Sanginga y Swift 1992, Lisanevork y Michelsen 1993); también se demostró que existe una susceptibilidad diferenciada a los aleloquímicos dependiendo de la especie de cultivo experimentada (Tomar *et al.* 1992, Lisanevork y Michelsen 1993).

Muchos metabolitos secundarios son inestables o son adsorbidos por partículas de suelo o se difunden con el agua y no necesariamente alcanzan concentraciones suficientes para tener efecto alelopático (Molina *et al.* 1991). Por otro lado, las técnicas usadas para extraer los compuestos alelopáticos no reflejan las condiciones naturales y elevan artificialmente las concentraciones de las sustancias inhibidoras (May y Ash 1990). Los aleloquímicos que se retienen posiblemente son compuestos fenólicos ligados al suelo y terpenoides absorbidos al suelo (Whitehead *et al.* 1983, Nishimura *et al.* 1984, Barton *et al.* 1989, Singh *et al.* 1991).

Un aspecto a considerar es que los aceites esenciales que posee el eucalipto son una mezcla de sustancias químicas complejas y poseen mayor actividad que sus componentes individuales y que las concentraciones varían significativamente entre las especies (Zhang *et al.* 2010). De otro lado, los compuestos fenólicos del eucalipto, son todos solubles en agua (Fenglai *et al.* 2017), concentrándose en las hojas y la corteza, hallándose metabolitos secundarios tales como terpenos y ácidos fenólicos que actúan como efectivos retardantes, más que inhibidores de la germinación de una gama amplia de cultivos y malezas (Ávila *et al.* 2007).

Considerando estas aseveraciones en el presente estudio se evalúa la aleopatía mediante bioensayos con extractos de hojas, ramas tiernas y semillas de eucalipto provenientes de plantaciones en cuatro provincias del Cusco; la presente investigación examina los efectos ecológicos de plantaciones de *Eucalyptus globulus*, basándose en información científica y técnicamente sólida y en experiencias documentadas en varios países. Se comentan esas experiencias y argumentos sobre consecuencias técnico-ambientales de plantaciones de eucaliptos, desarrollando ensayos de aleopatía con especies anuales utilizados en cultivos en la zona andina del Cusco. El objetivo de la investigación fue evaluar si existen efectos alelopáticos producidos por *Eucalyptus globulus*, en la germinación de cuatro especies de cultivos practicados en los andes en condiciones de vivero, para ello se utilizó el extracto acuoso de hojas, ramas tiernas y frutos del eucalipto que constituyen plantaciones en la zona andina del Cusco.

Materiales y Métodos

Se utilizaron hojas frescas, hojas secas, ramas tiernas y frutos de *Eucalyptus globulus* colectadas en las plantaciones ubicadas en la zona andina del Cusco. Para los ensayos de germinación y crecimiento se emplearon semillas de cebada (*Hordeum vulgare* L.); haba grano seco (*Vicia faba* L.); kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.); maíz blanco (*Zea maíz* Vell.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.).

Del ámbito de investigación

Los bioensayos de aleopatía se llevaron a cabo en el vivero forestal de Q'aytupampa de la Agencia Agraria Calca de la Dirección Regional Agraria Cusco, ubicado en la provincia de Calca a una distancia de 51 km. al noreste de la ciudad del Cusco y a una altitud de 2,926 m. Las muestras para el bioensayo fueron colectadas con pesos similares en plantaciones de eucaliptos existentes en cuatro provincias del departamento del Cusco: Anta, Calca, Cusco y Quispicanchi debidamente georeferenciadas.

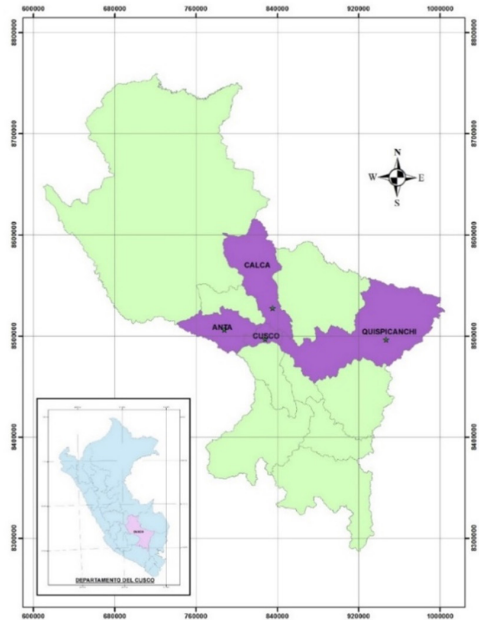


Figura 1. Mapa de ubicación de las plantaciones de eucalipto estudiadas.

Recolección de material y preparación del extracto.

El material para la preparación del extracto acuoso se colectó de manera directa y manualmente de las plantaciones de eucalipto colectándolo en una bandeja de plástico en una cantidad de 2 kg. Utilizando una maquina moledora se trituraron las semillas y las ramas tiernas para el extracto. Este material triturado, en una cantidad de 1 kg. Fue colocado en una vasija plástica, donde se añadió dos litros de agua destilada y se realizó el mezclado correspondiente; después de 24 horas, el material fue picado con una cuchilla quirúrgica y con ayuda de una licuadora se licuó por un minuto. El extracto acuoso se obtuvo siguiendo el método descrito por Pérez *et al.* (2002). El material licuado fue sometido a destilación utilizando un instrumento tipo Clevenger y matraz redondo de 2000 ml. El aparato Clevenger es fabricado en vidrio borosilicato 3.3. Constituye un sistema de extracción de aceites y su operación se basa en someter la muestra a tem-

Provincia	Distrito	Comunidad	Edad (años) (*)	Altitud (m s.n.m.)	Altura promedio del árbol (m)	DAP (cm)	Ubicación (UTM)
Anta	Ancahuasi	Santa rosa	15	3 660	18-20	43-65	18L 0789267; 8512610
Calca	Pisac	Ampay	20	3 450	12-15	15- 52	19L 0194480; 8515673
Cusco	Cusco	Laullipata	21	3 597	35	67-103	19L 0176759; 8504823
Quispicanchi	Cusipata	Tintinco	10	3 680	11	18-44	19L 0234074; 8464718

Cuadro 1. Criterios de selección para árboles semilleros basados en la estructura del individuo.

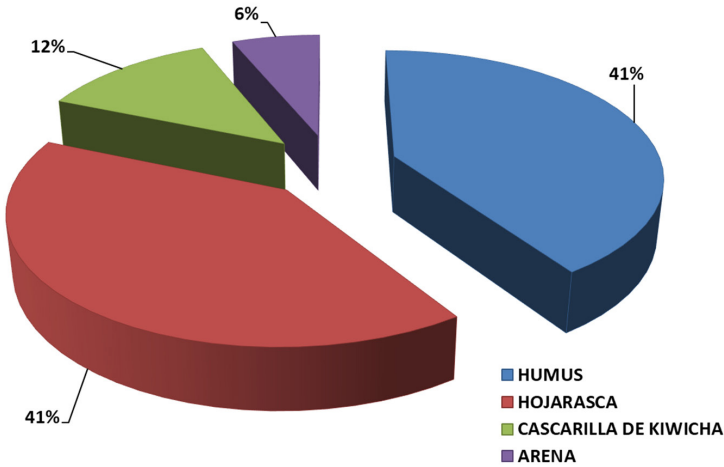


Figura 2. Composición del sustrato utilizado en los bioensayos.

peratura constante hasta alcanzar el punto de ebullición, el que se logra mediante una manta de calentamiento; cuando se inicia la evaporación, se condensa en la parte superior gracias al condensador; esta muestra condensada baja por un ducto hacia la bureta de extracción provista de una llave, en cambio el agua retorna al matraz por un canal alternativo. Una vez terminada la destilación, se mide el aceite separado mediante la escala que el aparato Clevenger dispone en la bureta. El material licuado, previamente pesado en una balanza de precisión (PCE-BSK 310, con rango de medición de 0 a

310 g y una resolución de 0.001 g), se introdujo en los matraces, y se añadieron 1000 ml de agua destilada. Con una manta calefactora se suministró calor al matraz redondo, generándose vapor de agua, que arrastró los componentes volátiles del preparado licuado, condensándose en el refrigerante, y pasando al tubo colector graduado, donde se recogió el extracto. Este procedimiento se mantuvo durante tres horas, culminada la destilación, cuando no se incrementó la cantidad del extracto en un periodo de 30 minutos. El extracto obtenido fue considerado la concentración básica (100%), y fue

conservado en congelador a -40°C hasta el momento de su aplicación en los bioensayos. Las concentraciones preparadas fueron: 10 mg/L; 25 mg/L; 50 mg/L; 100 mg/L y, 1,000 mg/L respectivamente y para el ensayo testigo se utilizó agua destilada.

Cabe precisar que no se utilizó la corteza para obtener el extracto para los bioensayos, en razón a que se requiere emplear un método de extracción con solventes volátiles como el alcohol, cloroformo, etanol e incluso metanol; estos compuestos solubilizan el aceite esencial y, además extraen otras sustancias como grasas y ceras, obteniéndose al final una esencia impura (Batihs *et al.* 2008, Koul y Walia 2009).

Preparación del sustrato de germinación

El sustrato fue rico en humus de lombriz, hojarasca de maíz, cascarilla de kiwicha y arena en los porcentajes que muestra la Figura 2.

Con este sustrato se llenaron los tubetes en un número de 750, es decir, 125 para las cinco especies vegetales y 125 para la siembra de los testigos en el bioensayo; cada tubete con una capacidad de 180 g. de sustrato; los tubetes facilitaron tener la misma cantidad de sustrato y observar de manera uniforme el crecimiento individual de cada plántula; las concentraciones preparadas fueron utilizadas para el riego. Los 125 tubetes utilizados para cada especie, fueron distribuidos, 25 tubetes para cada una de las cinco concentraciones y 25 tubetes para los testigos de cada especie.

Los tubetes utilizados en el bioensayo fueron de material polipropileno, cuyas características más resaltantes son: peso de 20 g, altura de 130 mm, diámetro exterior de 63 mm, diámetro interior de 53 mm, poseen estrías interiores para facilitar el enraizamiento, cada tubete posee un orificio al final para facilitar el drenaje.

Una vez realizada la siembra, se procedió a regar individualmente empleando una jeringa de 15 ml durante cuatro semanas; la primera semana se regó cotidianamente y a partir de la segunda en forma interdiaria. Se ha considerado esta investigación a nivel de bioensayo en vivero con el fin de manejar y recoger en for-

ma controlada toda la información sobre los efectos que puede causar el eucalipto sobre el material genético vegetal (semillas de cultivos andinos) y las manifestaciones en el desarrollo vegetativo de las plantas. En la cuarta semana, cuando las plántulas desarrollaron, se procedió a extraerlas para medir la longitud total, luego se seccionó la raíz para pesar independientemente tanto el tallo y la raíz y determinar la longitud de ambas secciones, utilizando una regla milimetrada y una balanza de precisión.

Validez y confiabilidad de los bioensayos

Todas las pruebas y análisis están sustentadas en metodologías del MINEM (2000), MINAM (2013), Bazán (1996), USDA (2004), MINAGRI (2014), Souza *et al.* (2010), Souto *et al.* (1993) y Ávila *et al.* (2007). Para el análisis de la información obtenida sobre alelopatía, se utilizó el software TREND (ANA/DCPRH, s.f.), utilizando tres métodos de tendencia: T de Student, prueba de Spearman y la regresión lineal; para determinar la significancia de cada uno de los tratamientos.

Población y muestra

La población está referida a la cantidad de semillas de las especies utilizadas en el bioensayo. Se considera por cada especie la cantidad de 125 semillas seleccionadas, haciendo un total de 750. El tipo de muestreo utilizado fue el muestreo no probabilístico por conveniencia y por estratos; consiste en seleccionar una muestra de la población identificada y que es finita. Es decir, las semillas utilizadas en la investigación que corresponden a los cultivos más comunes en la zona andina de Cusco, y no necesariamente porque hayan sido seleccionadas mediante un criterio estadístico (Ochoa 2019); además, los estratos corresponden a las cinco especies con las que se trabajó. Según Malhotra (2008), el muestreo probabilístico es una técnica de muestreo donde los individuos de la población son elegidos aleatoriamente y cada uno tiene la misma probabilidad positiva de ser elegido y formar parte de la muestra.

De la población de referencia, 750 semillas que es una muestra finita, se eligió el tamaño

de la muestra utilizando la fórmula, que según Milton (2001) y Box *et al.* (2008), es la siguiente.

Ecuación 1. Cálculo del tamaño de muestra

$$n = \frac{Nz^2 pq}{(e^2)(N - 1) + z^2 pq}$$

Dónde:

n: tamaño de la muestra.

N: Tamaño de la población.

Z: Nivel de confianza

e: Error

p: proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia

q: proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno en estudio

Una vez aplicada la ecuación se determinó el tamaño de la muestra y ésta fue afijada proporcionalmente utilizando la relación: n/N.

La presente investigación es de tipo experimental y de nivel descriptivo/explicativo y de enfoque mixto. Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos, fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos. La investigación básica, descriptiva y explicativa consiste en describir las variables de estudio y establecer las causas de los eventos, sucesos o fenómenos que se investiga (Ñaupas *et al.* 2018). Los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio (Hernández-Sampieri y Mendoza 2018).

Teniendo en cuenta que las variables analizadas han sido consideradas en los estudios, y observaciones y mensuraciones en campo, el diseño es de tipo experimental, pues se llevó a cabo bioensayos con cinco diferentes concentraciones de extracto acuoso de eucalipto para

constatar el efecto alelopático del eucalipto en especies de cultivos andinos.

Resultados

Para llevar a cabo los bioensayos, en principio, se determinó la población y la muestra a partir de la supervivencia de las semillas puestas a germinar en los tubetes y sometidas a diversas concentraciones del extracto de eucalipto.

Concentraciones	Supervivencia	
	Nº de individuos	(%)
Testigo	112	89.6
10 mg/ L.	115	92.0
25 mg / L.	111	88.8
50 mg/L.	111	88.8
100 mg/L.	109	87.2
1,000 mg/L.	112	89.6
Promedio general	670	89.3%

Cuadro 2. Supervivencia en la etapa de germinación de las semillas en el bioensayo.

Después de cuatro semanas en los tubetes y teniendo los cuidados pertinentes, la supervivencia de las semillas en el bioensayo fue, en promedio, de 89.3%; es decir, que no germinaron 80 semillas; todas las semillas supervivieron a los ensayos superando el 87%; por lo tanto, el éxito en la germinación fue alta. Considerando la supervivencia de las plántulas en el bioensayo, se procedió a determinar el tamaño de la muestra para las mensuraciones de las plántulas en lo referente a longitud y peso tanto del tallo y raíz. Utilizando la ecuación para determinar el tamaño de la muestra, con un nivel de confianza del 95% y un error de 5%, se determinó el tamaño de la muestra y éste fue de 244 individuos; empleando la afijación proporcional, el resultado fue el siguiente.

Los ensayos de alelopatía se analizaron según los resultados de la germinación de las semillas en el bioensayo; el análisis es para cada una de las concentraciones y el testigo; los resultados del análisis de alelopatía en cada una de las se-

Concentraciones	Nº de individuos	n
Testigo	112	41
10 mg/ L.	115	42
25 mg / L.	111	40
50 mg/L.	111	40
100 mg/L.	109	40
1,000 mg/L.	112	41
Total	670	244

Cuadro 3. Determinación del tamaño de la muestra total y según estratos.

millas fueron considerando sus promedios, así como el peso de la plántula y medidas longitudinales. A continuación, se analiza los resultados de aleopatía para cada especie:

Haba (*Vicia faba*)

Los resultados del ensayo de aleopatía a diferentes concentraciones de extracto acuoso de eucalipto, en la germinación de semillas de haba, se muestran en el Cuadro 4 y Figura 3.

De conformidad a los resultados del bioensayo y para el caso de *Vicia faba*, sometida al extracto de eucalipto en las cinco concentraciones, la longitud del tallo se ve disminuida en un 6.8% en promedio; en cambio en el peso de la plántula, la disminución o posible afectación alelopática es en un porcentaje inferior a 2%. Se puede apreciar que la longitud de la plántula disminuye más en concentraciones inferiores que a concentraciones más altas (100 y 1,000

mg/L); en cambio, referente al peso de la plántula, no tiene un efecto importante; incluso a concentraciones de 50 y 100 mg/L de extracto acuoso, se incrementan el peso de las plántulas. En general, para las diferentes concentraciones de extracto utilizados no se evidencian efectos marcados por valores extremos, tampoco la disminución en el crecimiento y desarrollo de las plántulas; en síntesis, se puede colegir que el efecto alelopático es nulo para *Vicia faba*.

Maíz (*Zea mays*)

Los resultados del ensayo de aleopatía a diferentes concentraciones de extracto acuoso de eucalipto, en la germinación de semillas de maíz blanco, se muestran en el Cuadro 5 y Figura 4.

Los resultados de los bioensayos en la germinación de *Zea mays*, evidencian que no existe ningún efecto alelopático del extracto de eucalipto en ninguna de las concentraciones, ni en la longitud de las plántulas tampoco en el peso de las mismas, excepto referidas a la longitud de la raíz con algunas concentraciones; empero la diferencia respecto al testigo es mínima, alrededor de un 2%. Análogamente, las longitudes y el peso de las plántulas son mayores en las diferentes concentraciones respecto del testigo; por lo tanto, no existe aleopatía del extracto de eucalipto en la germinación de semillas de *Zea mays*.

Cebada (*Hordeum vulgare*)

Los resultados del ensayo de aleopatía a diferentes concentraciones de extracto acuoso

Concentración	Longitud (cm)				Peso (g)			
	Tallo	Raíz	Total	Fluctuación porcentual	Raíz	Tallo	Total	Fluctuación porcentual
Testigo	25.50	15.00	40.50	-	8.657	6.563	15.220	-
10 mg/L.	25.60	11.80	37.40	- 07.6	7.480	6.448	13.928	- 08.5
25 mg/L.	25.85	12.50	38.35	- 05.3	7.592	7.029	14.621	- 03.9
50 mg/L.	21.40	12.45	33.85	- 16.4	8.872	6.445	15.317	+ 0.7
100 mg/L.	26.45	13.65	40.10	- 01.0	9.994	7.016	17.010	+ 11.8
1,000 mg/L.	25.50	13.55	39.05	- 03.6	7.337	6.513	13.849	- 09.0
Fluctuación porcentual promedio				- 6.8%	-	-	-	- 1.78%

Cuadro 4. Aleopatía registrada con cinco diferentes concentraciones en *Vicia faba*.

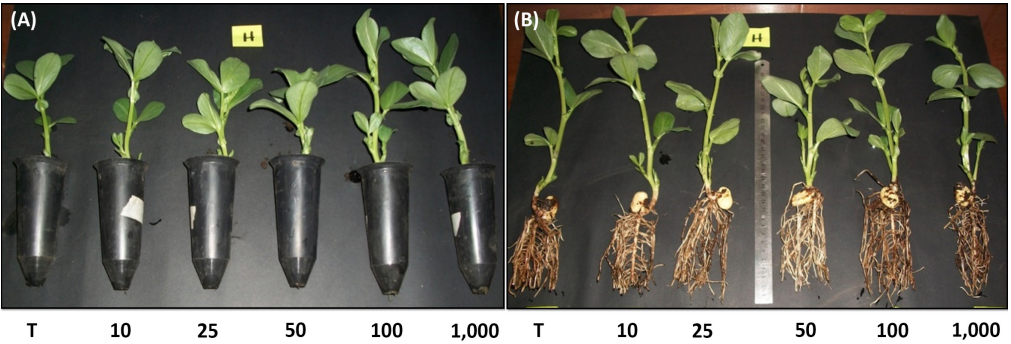


Figura 3. Plántulas (tallo y raíz) de *Vicia faba*, después de cuatro semanas de ensayos a diferentes concentraciones en extracto acuoso de eucalipto (mg/L).

Concentración	Longitud (cm)				Peso (g)			
	Tallo	Raíz	Total	Incremento porcentual	Raíz	Tallo	Total	Incremento porcentual
Testigo	23.30	13.10	36.40	-	3.633	3.189	6.822	-
10 mg/L.	27.70	12.85	40.55	+ 11.40	6.153	4.371	10.524	+ 54.3
25 mg/L.	26.10	14.05	40.15	+ 10.3	5.671	4.096	9.767	+ 43.2
50 mg/L.	25.50	12.20	37.70	+ 03.6	5.917	4.247	10.164	+ 49.0
100 mg/L.	24.35	12.80	37.15	+ 02.1	4.898	3.316	8.214	+ 20.4
1,000 mg/L.	26.55	13.15	39.70	+ 09.1	6.387	4.056	10.443	+ 53.1
Incremento porcentual promedio				+ 07.3 %	-	-	-	+ 44.0 %

Cuadro 5. Alelopatía registrada con cinco diferentes concentraciones en *Zea mays*.

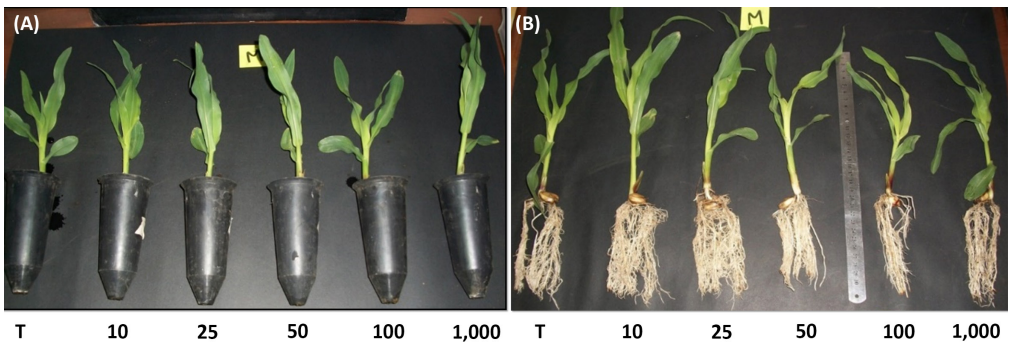


Figura 4. Plántulas (tallo y raíz) de *Zea mays*, después de cuatro semanas de ensayos a diferentes concentraciones en extracto acuoso de eucalipto (mg/L).

de eucalipto, en la germinación de semillas de cebada, se muestran en el Cuadro 6 y Figura 5.

Los resultados de los bioensayos tanto en la longitud como en el peso de las plántulas no tienen significancia importante; la longitud de las plántulas, en promedio, disminuyen en menos del 2%; en cambio en el peso promedio, se incrementa en alrededor del 1.5%; consecuentemente, podríamos afirmar que no existe alelopatía del eucalipto en la germinación de semillas de la cebada. La cebada, es un cultivo calificado como frágil; sin embargo, no es afectado en la etapa de germinación ante la aplicación de diferentes concentraciones de extracto de eucalipto.

Quinoa (*Chenopodium quinoa*)

Los resultados observados en el bioensayo, conducen a señalar que, en la longitud tanto

del tallo como en las raíces, no se observan mayor significancia en el efecto de las diversas concentraciones del extracto de eucalipto; en cambio, en el peso de los tallos y raíces se observa un incremento significativo, que en promedio supera el 34%; consecuentemente, no existe ningún efecto alelopático en esta especie andina (Cuadro 7 y Figura 6).

Kiwicha (*Amaranthus caudatus*)

Referida al parámetro longitud, se observa una disminución promedio superior al 3%; no obstante, en las concentraciones de 10 y 1,000 mg/L, son superiores a la del testigo; igualmente en el caso de la variable peso, existe una disminución promedio superior al 7%; aun cuando en la concentración de 10 mg/L se registra un peso mayor al del testigo (Cuadro 8 y Figura 7).

Concentración	Longitud (cm)				Peso (g)			
	Tallo	Raíz	Total	Fluctuación porcentual	Raíz	Tallo	Total	Fluctuación porcentual
Testigo	27.00	13.10	40.10	-	0.879	1.567	2.446	-
10 mg/L.	29.50	11.60	41.10	+ 02.5	0.825	1.953	2.778	+ 13.6
25 mg/L.	27.50	11.00	38.50	- 04.0	0.534	1.306	1.840	- 24.8
50 mg/L.	25.20	13.00	38.20	- 04.7	0.927	1.578	2.505	+ 02.4
100 mg/L.	26.45	13.30	39.75	- 00.9	0.878	1.566	2.444	- 00.1
1,000 mg/L.	26.50	12.75	39.25	- 02.1	0.782	2.060	2.842	+ 16.2
Fluctuación porcentual promedio				- 1.84%	-	-	-	+ 1.46%

Cuadro 6. Alelopatía registrada con cinco diferentes concentraciones en *Hordeum vulgare*.

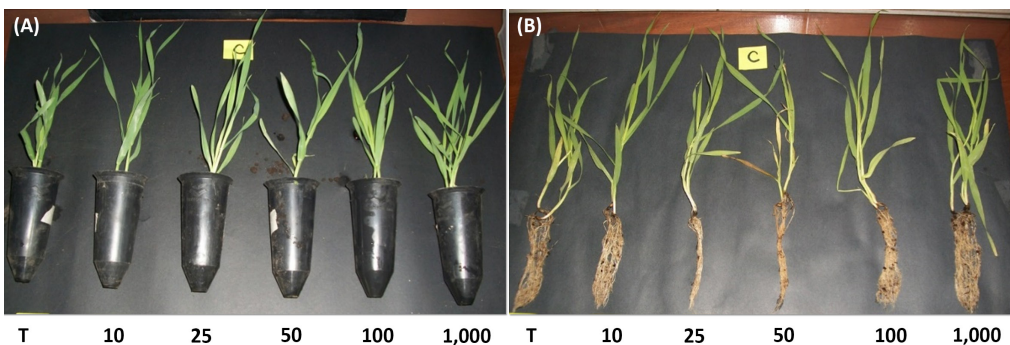


Figura 5. Plántulas (tallo y raíz) de *Hordeum vulgare*, después de cuatro semanas de ensayos a diferentes concentraciones en extracto acuoso de eucalipto (mg/L).

Concentración	Longitud (cm)				Peso (g)			
	Tallo	Raíz	Total	Fluctuación porcentual	Raíz	Tallo	Total	Fluctuación porcentual
Testigo	10.75	12.05	22.80	-	0.479	1.524	2.003	-
10 mg/L.	11.65	13.90	25.55	+ 12.1	0.607	2.736	3.343	+ 66.7
25 mg/L.	9.50	11.20	20.70	- 09.2	0.224	1.050	1.274	- 63.6
50 mg/L.	12.30	11.30	23.60	+ 03.5	0.623	2.070	2.693	+ 34.5
100 mg/L.	11.00	12.20	23.20	+ 01.8	0.607	3.810	4.417	+ 120.5
1,000 mg/L.	10.45	12.40	22.85	+ 00.2	0.503	1.782	2.285	+ 14.1
Fluctuación porcentual promedio				+ 1.7%	-	-	-	+ 34.4%

Cuadro 7. Alelopatía registrada con cinco diferentes concentraciones en *Chenopodium quinoa*.

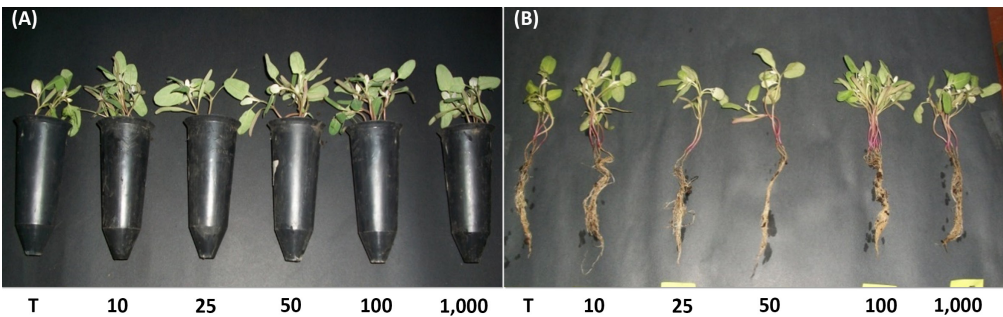


Figura 6. Plántulas (tallo y raíz) de *Chenopodium quinoa*, después de cuatro semanas de ensayos a diferentes concentraciones en extracto acuoso de eucalipto (mg/L).

Considerando los bioensayos desarrollados con semillas de cinco especies de cultivares practicados en la zona andina del Cusco, se desprende que, el eucalipto no ejerce alelopatía. De otro lado, considerando la edad de las plantaciones existentes en Cusco y teniendo en cuenta las concentraciones utilizadas en los ensayos de alelopatía, se puede indicar que las concentraciones de 1,000 mg/L, son concentraciones superiores a las probables existentes en el suelo de plantaciones de eucalipto existentes en Cusco. Por lo tanto, no existe efecto alelopático generado por el eucalipto.

Cuando se utilizaron las pruebas de tendencia con el software TREND, se presenta escasa significancia para el peso de las plántulas; en cambio, referida a la longitud, no presenta significancia alguna.

Discusión

Orbe *et al.* (2013), trabajaron con extractos etanólicos y metanólicos de las hojas de cinco plantas amazónicas sobre el crecimiento de semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.), aplicaron a las semillas germinadas volúmenes de 100 μ L de soluciones etanólicas a diferentes concentraciones (10, 3, 0.3 y 0.1 mg.mL⁻¹), resultando una inhibición en el crecimiento de las radículas superiores al 10%; los bioensayos en Cusco, se llevaron a cabo con extracto acuoso y las plántulas ensayadas no evidenciaron inhibición alguna; en todo caso cabe precisar que los extractos etanólicos y metanólicos, son relativamente tóxicos para ciertas especies como la lechuga (Cheema *et al.* 2013).

Callaway y Ridenour (2004), citado por Hernández *et al.* (2020), reportaron que los aleloquímicos indirectamente afectan los mi-

Concentración	Longitud (cm)				Peso (g)			
	Tallo	Raíz	Total	Fluctuación porcentual	Raíz	Tallo	Total	Fluctuación porcentual
Testigo	3.70	6.15	9.85	-	0.027	0.120	0.147	-
10 mg/L.	4.10	7.00	11.10	+ 12.7	0.011	0.166	0.177	+ 20.4
25 mg/L.	3.10	5.05	8.15	- 17.3	0.035	0.086	0.121	- 17.7
50 mg/L.	3.20	5.80	9.00	- 8.6	0.037	0.098	0.135	- 8.2
100 mg/L.	3.60	5.45	9.05	- 8.1	0.047	0.092	0.139	- 5.4
1,000 mg/L.	2.65	7.60	10.25	+ 4.1	0.035	0.076	0.111	- 24.5
Fluctuación porcentual promedio				- 03.44%	-	-	-	- 07.1%

Cuadro 8. Alelopatía registrada con cinco diferentes concentraciones en *Amaranthus caudatus*.

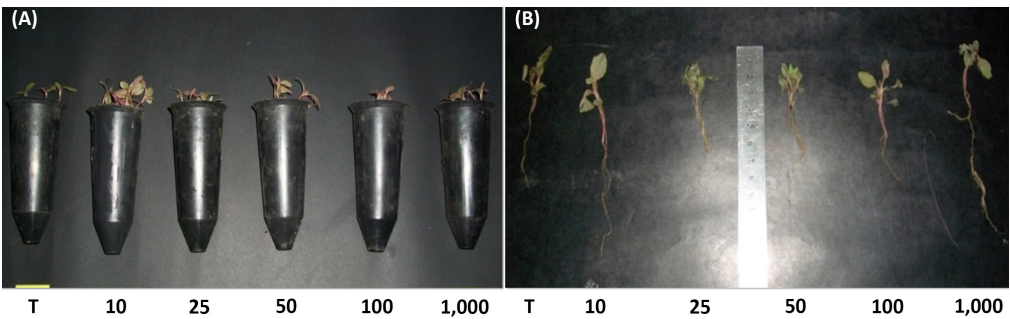


Figura 7. Plántulas (tallo y raíz) de *Amaranthus caudatus*, después de cuatro semanas de ensayos a diferentes concentraciones en extracto acuoso de eucalipto (mg/L).

croorganismos del suelo y la elongación y desarrollo de plantas; hecho que no ha sido observado en los bioensayos con cinco especies de cultivos andinos sometidos al extracto acuoso de *Eucalyptus globulus* en Cusco.

Majeed *et al.* (2018), utilizaron diferentes concentraciones de residuos de plantas de *Echinochloa colona* L. para ver el efecto alelopático de esta sobre la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de *Zea mays*. Los resultados revelaron que hubo un efecto estimulante de residuos de *E. colona* incorporados al suelo en plántulas de maíz de hasta 2%; Se observó una reducción en el porcentaje de emergencia, longitud de raíz y brote, peso seco de raíz y brote y vigor de plántulas de maíz en la concentración de 5% de residuos de plantas de *E. colona*. Resultados que son diferentes a los bioensayos desarrollados en Cusco con *Eucalyptus globulus*, que expresan la no inhibición

en la germinación en el desarrollo de las semillas y plántulas de cinco cultivos andinos; es pertinente resaltar que las concentraciones utilizados en los ensayos de alelopatía de Majeed *et al.* (2018) es en porcentaje y, en Cusco se utilizaron mg/L.

Dos Santos *et al.* (2020) evaluaron el efecto de extractos de plantas de *Eucalyptus globulus* Labill y *Moringa oleifera* Lam, sobre la germinación de semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.), los resultados señalan que el porcentaje de germinación de las semillas se redujo en ambos extractos, con la concentración de 0.4 g/ml del extracto de eucalipto; el índice de velocidad de germinación y la longitud del tallo sufrieron una mayor reducción en las concentraciones más altas de los extractos. Es pertinente observar que, la concentración utilizada en los ensayos de estos investigadores en g/ml, concentraciones relativamente altas

respecto de las concentraciones utilizadas en los bioensayos en Cusco, medido en mg/L, que constituyen concentraciones 1,000 veces menor tanto en el soluto como en el solvente.

Lino *et al.* (2020), realizaron un trabajo en el cual evaluaron el efecto del extracto acuoso de hojas frescas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*) en diferentes concentraciones sobre la germinación y el desarrollo inicial de semillas de maíz (*Zea mays*) y caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación, índice de velocidad de germinación, longitud de plántulas, masa de materia fresca y seca de plántulas. Los resultados de esta investigación señalan que el extracto acuoso de las hojas frescas de *E. urophylla*, provoca en las semillas de caupí, inhibición en la longitud y materia seca de las plántulas, indicando la presencia de posibles compuestos alelopáticos; en cambio no encontraron diferencias significativas para el maíz en ninguna de las variables analizadas. Este ensayo de alelopatía es coincidente con los resultados obtenidos en Cusco para *Zea mays*, que tampoco presentó efecto inhibitorio alguno en la germinación, así como en la longitud del talluelo y raíz de la especie en ensayo.

Del Moral y Muller (1970) y Del Moral *et al.* (1978), encontraron una variación estacional en el contenido de inhibidores hidrosolubles en hojas de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.; identificaron fenoles como responsables de leves efectos alelopáticos de extractos acuosos de *Eucalyptus baxteri* (Benth.) J.M. Black. Resultados que difieren de los hallazgos en los bioensayos con extracto acuoso de *Eucalyptus globulus* en Cusco, pues, no se reportan efectos inhibidores en cinco especies de cultivos andinos.

Chong-Rodríguez y Castro-Moreno (2015), en ensayos de alelopatía reportan que el crecimiento radicular no fue afectado por las concentraciones de extracto de eucalipto evaluado durante los cinco días. En contraste, Murillo *et al.* (2005), registran que los extractos hexánicos de *E. globulus* tiene un efecto alelopático negativo sobre el crecimiento de la soya, el tomate y la lechuga. Lawan *et al.* (2011) registraron el

potencial negativo del eucalipto afectando la longitud radicular de *Arachis hypogaea* L. hasta en un 50.4% con extractos acuosos (45 g/L) durante 120 horas. Los bioensayos desarrollados en Cusco en concentraciones de 10, 25, 50, 100 y 1,000 mg/L, son coincidentes con Castro-Moreno y Chong-Rodríguez (2015) y difieren de los resultados obtenidos por Murillo *et al.* (2005) y Lawan *et al.* (2011), aun cuando en Cusco se trabajó con concentraciones menores, pero, durante un tiempo mayor.

Ballester *et al.* (1982), realizaron cuatro ensayos utilizando extractos de hojas de eucalipto y acículas de pino, para determinar los efectos alelopáticos en la germinación de semillas de *Trifolium repens* L., *Trifolium pratense* L., *Dichondra repens* J.R. Forst. & G. Forst., *Lotus corniculatus* L., *Dactylis glomerata* L., *Festuca rubra* L., *Festuca pratensis* Huds. y *Lolium multiflorum* Lam.; los resultados señalan que no altera el crecimiento y la germinación de las especies herbáceas ensayadas; sólo se observó una inhibición en el crecimiento radicular de las dos variedades de ray-grass italiano y, concluyen que el ensayo de laboratorio debe ser confirmado en condiciones naturales de campo. Contrastando estos resultados con los obtenidos en Cusco, también a nivel de bioensayo, los resultados son coincidentes; además, el desarrollo de las plántulas no tuvo inhibición en el peso, tampoco en la longitud de los tallos y raíces.

Los estudios realizados por Ávila *et al.* (2007), utilizando hojas frescas de *Eucalyptus robusta* Sm. para pruebas de alelopatía en la germinación y crecimiento de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays*), lechuga (*Lactuca sativa* L.), arveja (*Pisum sativum* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) a concentraciones de 7000 ppm y fracción de hexano a 500 ppm con el respectivo control (testigo). El estudio concluyó que las concentraciones no inhibieron la germinación de las semillas, pero si su crecimiento, particularmente, el extracto total y la fracción de hexano de *Eucalyptus robusta* sobre el crecimiento de monocotiledoneas (maíz, arroz y sorgo) que sobre dicotiledoneas (arve-

ja, frijol y lechuga). Los bioensayos en Cusco son coincidentes con esta investigación en lo referente a la germinación; en cambio difieren respecto del crecimiento; en el caso de Cusco se utilizaron parámetros como la longitud del tallo y la raíz, así como el peso de las plántulas; en estos aspectos no se observó ningún efecto alelopático; la explicación podría ser que ellos utilizaron una concentración mayor (7000 ppm).

Castro-Moreno y Chong-Rodríguez (2015), utilizaron tres concentraciones (0.25, 0.5 y 1 mg/mL) de extractos de hojas de *Eucalyptus globulus* sobre la germinación y crecimiento de la radícula de *Tabebuia donnell* Rose (palo blanco), los resultados señalan que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos; no se afectó la germinación bajo ninguna de las concentraciones evaluadas obteniéndose en todos los casos altos porcentajes de germinación. El crecimiento radicular tampoco fue afectado por ninguna de las concentraciones del extracto evaluado durante los cinco días; demostrando que no existe alelopatía. Aun cuando los ensayos de Castro-Moreno y Chong-Rodríguez (2015) fueron respecto de la alelopatía en una especie arbórea y durante corto tiempo; sin embargo, los resultados son coincidentes con los bioensayos desarrollados en Cusco que fueron con especies anuales y durante cuatro semanas, concluyéndose que los extractos a diversas concentraciones no inhiben la germinación ni el desarrollo de las plántulas.

Ojeda (2018), estudió el efecto alelopático en vivero de extractos vegetales de las especies forestales *Cedrela odorata* L. (cedro), *Swietenia macrophylla* King (caoba), *Inga edulis* Mart. (paca) y *Eucalyptus torrelliana* F. Muell. (eucalipto) sobre café (*Coffea arabica* L.) variedad caturra roja. Los extractos obtenidos de las hojas de cada especie arbórea se aplicaron a través del agua de riego en tres concentraciones: tratamiento 1 (testigo): 100 ml agua; tratamiento 2: 100 ml de agua con 10 ‰ de extracto vegetal; tratamiento 3: 100 ml de agua con 20 ‰ de extracto vegetal y, tratamiento 4: 100 ml de agua con 30 ‰ de extracto vegetal. Las aplicaciones se realizaron a los 30 y 60 días después del tras-

plante del café a bolsas en vivero. Se evaluó altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, peso fresco y peso seco, cada 30 días desde el trasplante durante un periodo de cuatro meses. La conclusión señala que no hubo diferencias significativas entre las distintas dosis y el testigo para los cuatro ensayos evaluados. Estos resultados podrían indicar que no habría efectos alelopáticos de los extractos vegetales de las hojas de las especies evaluadas sobre el café en vivero, para las condiciones en donde se llevó a cabo el trabajo de investigación. Del mismo modo, los bioensayos en Cusco, utilizando extracto acuoso de *Eucalyptus globulus* en diversas concentraciones, no evidencia efectos alelopáticos en la germinación ni en el desarrollo de las plántulas de cuatro especies cultivadas en la zona andina del Cusco.

Molina *et al.* (1991), colectaron lixiviados de hojarasca, follaje en pie y escurrimientos de tronco en una plantación de 23 años de *E. globulus* durante cinco meses, para determinar si producían alelopatía en la germinación y crecimiento de semillas de lechuga (*Lactuca sativa*); concluyen que, ni los lixiviados del follaje en pie ni los escurrimientos de tronco produjeron inhibición en la germinación o elongación de radícula de lechuga. Los resultados alcanzados con extractos acuosos provenientes de hojas, ramas tiernas y semillas provenientes de plantaciones de *Eucalyptus globulus* en Cusco, son coincidentes con este estudio; por lo tanto, no existe inhibición significativa tanto en la germinación como en la longitud del tallo y raíz, así como en el peso en las plántulas sometidas a los bioensayos.

El conjunto de evidencias presentadas en esta investigación sugiere que las plantaciones de *Eucalyptus globulus* en Cusco, pueden estar relacionadas con el suelo donde crece, los cultivos cercanos, la vegetación en el sotobosque, el régimen de lluvias en la región y el manejo de la plantación.

Conclusiones

La presente investigación demuestra que no existe efecto alelopático del extracto acuoso de

hojas, ramas tiernas y semillas de *E. globulus* sobre la germinación de semillas, longitud de tallos y raíces y peso de las plántulas de las monocotiledóneas (*Hordeum vulgare* y *Zea mays*), tampoco de las dicotiledóneas (*Amaranthus caudatus*, *Chenopodium quinoa* y *Vicia faba*) en ninguna de las concentraciones probadas. Consecuentemente, los efectos alelopáticos que genera el eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en cultivos de cebada, haba, kiwicha, maíz y, quínoa, son nulos en los bioensayos a diferentes concentraciones con extracto acuoso no ocasionando efectos alelopáticos que puedan inhibir la germinación de las semillas ni el crecimiento de las plántulas. En Perú se ha utilizado *E. globulus* para reforestación y por ello es importante conocer el impacto ecológico que sus aleloquímicos tienen sobre el suelo puesto que pueden afectar a la flora y fauna nativas. Por lo tanto, estas observaciones visibles en la investigación demuestran que no hay efecto negativo del eucalipto sobre la germinación de semillas y el desarrollo de plántulas a nivel de vivero en las especies evaluadas.

La investigación y sus resultados obtenidos mediante los bioensayos conducen a concluir que la evaluación completa de los efectos alelopáticos del eucalipto requiere mayor investigación sobre: a) la interacción de los diferentes tipos de suelo con los aleloquímicos del eucalipto, especialmente sobre la cantidad de aleloquímicos retenidos y respecto de la migración de estas sustancias a los horizontes del suelo; b) la cantidad de aleloquímicos generados en un tiempo determinado; c) la estabilidad de los aleloquímicos en el ambiente y la actividad biológica de los productos derivados y, d) el régimen de precipitaciones para observar la disolución de los aleloquímicos y su infiltración a la napa freática.

Referencias

Alves, R; Silva, M; Silva, J; Costa, R; Santos, B; Lima, E. 2019. Efecto alelopático de *Libidibia ferrea* Mart. Sobre el vigor de las semillas de caupí. Revista Verde de Agroecología y Desarrollo Sostenible 14(3):476-479. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v14i3.5974>.

Ashton, D.H; y Willis, E.J. 1982. Antagonisms in the regeneration of *Eucalyptus regnans* in the nature forest. In New-man, E (ed.). The Plant Community as a Working Mechanism. British Ecological Society Special Publication, No. 1. Blackwell Scientific Publication, Oxford, p. 113-128.

ANA (Autoridad Nacional del Agua). s.f. Manual del software Trend pruebas estadísticas de series de tiempo hidrológicas; versión 1, aprobado por DCPRH. Lima, Perú. 23 p.

Ávila, L; Murillo, W; Durango, E; Torres, F; Quiñones, W. 2007. Efectos alelopáticos diferenciales de extractos de eucalipto. Scientia et Technica 1(33):1-2.

Ballester, A; Arias, AM; Cobián, B; López Calvo, E; Vieitez, E. 1982. Estudio de potenciales alelopáticos originados por *Eucalyptus globulus* Labill., *Pinus pinaster* Ait. y *Pinus radiata* D. Departamento de Fisiología Vegetal, Facultad de Biología, Santiago de Compostela. Rev. PASTOS 12(2):239-254.

Barbosa, JA; Ferreira, SD; Salvalaggio, AC; Neumárcio, Vd; Márcia, D E. 2018. Allelopathy of aqueous *Pachyrhizus erosus* L. extracts on *Euphorbia heterophylla* and *Bidens pilosa*. Pesquisa Agropecuária Tropical 48(1):59-65. Disponible en <https://ezproxyucor.unicordoba.edu.co:2118/scholarlyjournals/allelopathy-aqueouspachyrhizus-erosus-l-extracts/docview/2132007895/se-2?accountid=137088>.

Batish, DR; Singh, HP; Kohli, RK; y Kaur, S. 2008. *Eucalyptus* essential oil as a natural pesticide. Forest Ecology and Management 256:2166-2174.

Bastidas, O. 2008. El fenómeno alelopático. El concepto, las estrategias de estudio y su aplicación en la búsqueda de herbicidas naturales. Química viva 7:2-34.

Bará, S; Rigueiro, A; Gil, MC; Mansilla, P; Alonso, M. 1985. Efectos ecológicos del *Eucalyptus globulus* en Galicia. Estudio comparativo con *Pinus pinaster* y *Quercus robur*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, 50 p.

Barton, AFM; Tijandra, J; Nicholas, PC. 1989. Chemical evaluation of volatile oils in *Eucalyptus*

- tus* species. Journal of Agricultural and Food Chemistry 37:1253-1257.
- Batish, D; Harminder, P; Ravinder, K; Shalinder, K. 2008. *Eucalyptus* essential oil as a natural pesticide. Forest Ecology and Management 256(12):2166-2174.
- Bazán, LR. 1996. Manual para el análisis químico. Fundación Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú. 50 p.
- Binkley, D y Stape, JL. 2004. Sustainable management of *Eucalyptus* plantations in a changing world. In *Eucalyptus in a changing world*. Aveiro: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Disponible en <http://warnercnr.colostate.edu/~dan/papers/PortugalSustain.pdf>.
- Box, GE; Hunter, JS; Hunter, WG. 2008. Estadística para investigadores. Diseño, innovación y descubrimiento, 2ª, Editorial Reverté. p. 133-172
- Castro-Moreno, M; Chong-Rodríguez, EA. 2015. Efecto alelopático de los extractos vegetales de *Eucalyptus globulus* Labill. (Myrtaceae) sobre *Tabebuia donnell-smithii* Rose (Bignoniaceae). Lacandonia 9(1):45-50.
- Catalán, P; Vázquez de Aldana, BR; De las Heras, P; Fernández-Seral, A; Pérez-Corona, ME. 2013. Comparing the allelopathic potential of exotic and native plant species on understory plants: are exotic plants better armed? Anales de Biología 35:65-74.
- Cheema, ZA; Farooq, M; Wahid, A. 2013. Allelopathy. Current Trends and Future Applications, Springer, London, England. 520 p.
- De Lima, WP. 1993. Impacto ambiental do eucalipto. 2ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 302 p.
- Del Moral, R; Müller, CH. 1969. Fog drip: a mechanism of toxic transport from *Eucalyptus globulus*. Bulletin of the Torrey Botanical Club 96:467-475.
- Del Moral, R; Müller, CH. 1970. The allelopathic effects of *Eucalyptus camaldulensis*. American Midland Naturalist 83:254-282.
- Del Moral, R; Willis, RJ; Ashton, DH. 1978. Suppression of coastal heath vegetation by *Eucalyptus baxteri*. Australian Journal of Botany 26:203-219.
- Dos Santos, M D R; Chaves, J T L; Macedo, S A; Marco, C A; Dos Santos, T M; y Da Silva, T I. 2020. Capacidade alelopática de duas espécies medicinais na germinabilidade de *Solanum lycopersicum* Mill. Research, Society and Development 9(9):e271997202-e271997202.
- Einhellig, FA. 1995. Allelopathy: Current status and future goals. In Inderjit, Dakshini, KMM; Einhellig, FA (eds.). Allelopathy: Organisms, Processes, and Applications. American Chemical Society Symposium Series 582, Washington, D.C. p. 1-25.
- Fenglai, L; Lilang, Z; Yueyuan, C; Dianpeng, L; Rensen, Z; Huashou, L. 2017. Soil microorganisms alleviate the allelopathic effect of *Eucalyptus grandis* y *E. urophylla* leachates on *Brassica chinensis*. Northeast Forestry Research 28(6):1203-1207.
- Florence, V. 1986. Cultural problems of *Eucalyptus* as exotics. Commonwealth Forestry Review 65:141-166.
- Fomsgaard, IS; Mathiassen, S; Kudsk, P; Hansen, LM. 2001. ¿Es el aprovechamiento de las propiedades alelopáticas para el control de malas hierbas en cereales una estrategia adecuada desde el punto de vista medioambiental? Leon, Spain, 20-22 nov. 2001.
- Grewal, SS. 1995. Nursery raising, growth, fertilization, cover crops and water use of *Eucalyptus* on foothill alluvium near Chandigarh - a review. Indian Journal of Forestry 18(1):1-12.
- Hernández, RO; Castillo, A M; López-Rubio, A; y Chávez-Ponce, E. 2020. Efecto alelopático del zacate rosado (*Melinis repens*) en la germinación de chile y tomate. TECNOCENCIA Chihuahua 14(2):41-47.
- Hernández-Sampieri, R; y Mendoza, C. 2018. Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education. 714 p.

- Hillis, WE. 1966. Polyphenols in the leaves of *Eucalyptus* L'Herit: a chemotaxonomic survey. I. Introduction and study of the series Globulares. *Phytochemistry* 5:1075-1090.
- Hillis, WE. 1967. Polyphenols in the leaves of *Eucalyptus* L'Herit: a chemotaxonomic survey. II. The sections Renantheroidae and Rhenantherae. *Phytochemistry* 6:259-274.
- Kocacaliskan, I; Terzi, I. 2001. Allelopathic effects of walnut leaf extracts and juglone on seed germination and seedling growth. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 76:436-440.
- Kokumai, M; Konoshima, T; Kozuka M. 1991. Euglobal T1, a new euglobal from *Eucalyptus tereticornis*. *Journal of Natural Products* 54:1082-1086.
- Kohli, RK; Singh, D. 1991. Allelopathic impact of volatile from *Eucalyptus* on crop plants. *Biologia Plantarum* (Prague) 33:475-483.
- Kohli, RK; Batish, DR; Singh, H.P. 1998. Eucalypt oil for the control of parthenium (*Parthenium hysterophorus* L.). *Crop Protection* 17:119-122.
- Koul, O; Walia, S. 2009. Comparing impacts of plant extracts and pure allelochemicals and implications for pest control. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 4(49):1-30.
- Lawan, SA; Suleiman, K; Iortsuun, DN. 2011. Effects of allelochemicals of some *Eucalyptus* species on germination and radicle growth of *Arachis hypogea*. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences* 4(1):59-62.
- Lima, W P. 1987. Impacto ambiental del Eucalipto. *Desarrollo Forestal* Ed. Tabasco, México.
- Lino, VVR; Sousa, GO; Costa, NB; Oliveira, AB de C; Leite, MRP. 2020. Efecto alelopático del extracto acuoso de *Eucalyptus urophylla* en semillas de maíz y caupí. *Investigación, sociedad y desarrollo* 9(8):e335985724. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5724>.
- Lisanework, N; y Michelsen, A. 1993. Allelopathy in agroforestry Systems: The effects of leaf extracts of *Cupressus lusitanica* and three *Eucalyptus* ssp. on four Ethiopian crops. *Agroforestry Systems* 21:63-74.
- Majeed, M; Tanveer, A; Tahir, M; Ahmad, R. 2018. Soil mediated allelopathic effect of *Echinochloa colona* on germination and seedling growth of *Zea mays*. *Planta Daninha* 36:1-2. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582018360100127>.
- Malhotra, NK. 2008. Muestreo; diseño y procedimientos. In Malhotra, NK, *Investigación de Mercados*. México: Pearson Educación, Prentice Hall. p. 332-360.
- May, FE; Ash, JE. 1990. An assessment of the allelopathic potential of *Eucalyptus*. *Australian Journal of Botany* 38:245-254.
- Milton, S. 2001. *Estadística para Biología y Ciencias de la Salud*. 3ª ed. Madrid: McGraw Hill-Interamericana. 744 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2013. Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM. *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo*. El Peruano, 2013. Lima.
- Ministerio de Agricultura, Dirección de Información Agraria-DGCA-MINAG, Dirección General de Competitividad Agraria, Dirección de Información Agraria, Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos, Servicio nacional de meteorología e hidrología, SENAMHI, Dirección General de Agrometeorología. 2014. *Manual de observaciones fenológicas*. Lima. 98 p.
- Molina, R; Reigosa, MJ; Carballeira, R. 1991. Release of allelochemical agents from litter, throughfall, and topsoil in plantations of *Eucalyptus globulus* Labill. in Spain. *Journal of Chemical Ecology* 17:147-160.
- Molisch, H. 1937. *Der Einfluss einer Pflanze auf die andere-Allelopathie*. Fischer, Jena, Germany.
- Murillo, W; Quiñones, W; Echeverri, F. 2005. Evaluación del efecto alelopático de tres espe-

- cies de *Eucalyptus*. Universidad de Antioquia, Colombia. p. 105-108.
- Nishimura, H; Nakamura, T; Mizutani, J. 1984. Allelopathic effects of p-menthane-3-8 -diols in *Eucalyptus citriodora*. *Phytochemistry* 23:2777-2779.
- Ñaupas-Paitán, H; Valdivia-Dueñas, MR; Palacios-Vilela, JJ; Romero-Delgado, E. 2018. Metodología de la investigación Cuantitativa-Cualitativa y Redacción de la Tesis. 5a. Edición. Bogotá: Ediciones de la U. 560 p.
- Ochoa-Sangrador, C. 2019. Diseño y análisis en investigación. editorial: IMC-International Marketing & Communication. Madrid, España. 152 p.
- Ojeda, WE. 2018. Alelopatía de extractos vegetales obtenidos de especies forestales sobre *Coffea arabica* l. var. Caturra roja en Chanchamayo. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 49 p.
- Okamura, H; Mimura, A; Yakou, Y; Niwano, M; Takahara Y. 1993. Antioxidant activity of tanins and flavonoids in *Eucalyptus rostrata*. *Phytochemistry* 33:557-561.
- Orbe, P; Tuesta, G; Merino, C; Rengifo, E; Cabanillas. 2013. Evaluación de la actividad alelopática de cinco especies vegetales amazónicas. Instituto de Investigaciones de la Amazonía peruana. *Folia Amazónica* 22(1-2):91-96.
- Pérez, JG; Torres, S; Puente, M; Aguilar, R. 2002. Efecto alelopático del extracto acuoso de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) sobre ocho cultivos económicos. Disponible en <http://www.ucf.edu.cu/URBES/CD/ALELOPATIA%20DEL%20TABACO.htm>.
- Putnam, AR; Tang, C S. 1986. Allelopathy: State of the Science. In Putnam, AR; Tang, CS (eds.). *The Science of Allelopathy*. John Wiley and Sons, New York, p. 1-22.
- Rice, EL. 1974. *Allelopathy*. Academic Press. London, United Kingdom. 353 p.
- Rice, EL. 1984. *Allelopathy*, Academic Press, London, United Kingdom. 422 p.
- Rai, RSV; Suresh, KK. 1988. Agrosilvicultural studies-optimum species combination. *International Tree Crops Journal* 5:1-8.
- Sánchez, L; González, L; Meseguer, I. 2020. Efectos alelopáticos de residuos de *Sorghum Halepense* (L.) sobre dos arvenses dicotiledóneas en condiciones de laboratorio. *Revista ambiental agua, aire y suelo* 1:1-9. Disponible en https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_vic-inves/index.php/RA/article/view/4119/2420.
- Sanginga, N; Swift, MJ. 1992. Nutritional effects of *Eucalyptus* litter on the growth of maize (*Zea mays*). *Agriculture Ecosystems and Environment* 41:55-65.
- Shrivastava, MB; Lal, CB. 1989. Biomass plantation and farm forestry: choice of *Eucalyptus* species: environmentalists versus foresters. *Indian Journal of Forestry* 12:247-254.
- Singh, D; Kohli, RK; Saxena, DB. 1991. Effect of eucalyptus oil on germination and growth of *Phaseolus aureus* Roxb. *Plant and Soil* 137:223-228.
- Singh, D; Kohli, RK. 1992. impact of *Eucalyptus tereticornis* Sm. shelterbelts on crops. *Agroforestry Systems* 20:253-266.
- Sivagurunathan, M; Sumitra-Devi, G; Ramasany, K. 1997. Allelopathic compounds in *Eucalyptus spp*. *Allelopathy Journal* 4(2):313-320.
- Souto, XC; González, L; Reigosa, MJ. 1993. Estudio de los efectos alelopáticos producidos por partes aéreas de distintas especies arbóreas (*Eucalyptus globulus*, *Acacia melanoxylon*, *Quercus robur*, *Pinus radiata*) en descomposición en el suelo. Congreso Forestal Español ponencias y comunicación. Tomo I. Lourizán. p. 189-194.
- Souto, XC; González, L; Reigosa, MJ. 1994. Comparative analysis of allelopathic effects produced by four forestry species during decomposition process in their soils in Galicia. *Journal of Chemical Ecology* 20:3005-3015.
- Souto, XC; González, L; Reigosa, MJ. 1995. Allelopathy in forest environment in Galicia, NW Spain. *Allelopathy Journal* 2:67-78.
- Souza-Filho, APS; Guilhon, GMSP; Santos, LS. 2010. Methodologies applied in allelo-

pathic activity evaluation studies in the laboratory: a critical review. *Planta Daninha* 28: 689-697. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000300026>.

Suresh, KK; Rai, RSV. 1987. Studies on the allelopathic effects of some agroforestry tree crops. *International Tree Crops Journal* 4:109-115.

Toky, OP; Singh, V. 1993. Litter dynamics in short-rotation high density tree plantations in an arid region of India. *Agriculture Ecosystems and Environment* 45:129-145.

Tomar, VPS; Narain, P; Dadhwal, K.S. (1992). Effect of perennial mulches on moisture conservation and soil building properties through agroforestry. *Agroforestry Systems* 19:241-252.

USDA (United States Department of Agriculture). 2004. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Laboratory Investigations Report no. 42. Lincoln, NE, USA.

Vyvyan, JR. 2002. Allelochemicals as leads for new herbicides and agrochemicals. *Tetrahedron* 58:1631-1646.

Weston, LA. 1996. Utilization of allelopathy for weed management in agroecosystems. *Agronomy Journal* 88:860-866

Whitehead, DC; Dibb, H; Hartley, RD. 1983. Bound phenolic compounds in water extracts of soils, plant roots and leaf litter. *Soil Biology and Biochemistry* 15:133-136.

Zhang, J; An, M; Wu, H; Stanton, R; Lemerle, D. 2010. Chemistry and bioactivity of *Eucalyptus* essential oils. *Allelopathy Journal* 25(2):313-330.