



**Innova Biology
Sciences**

REVISTA CIENTÍFICA DE BIOLOGÍA Y CONSERVACIÓN

Editada por Innova Scientific

Vol. 2, N° 2, mayo - agosto 2022

ISSN: 2810-8019 (en línea)

► **APROVECHAMIENTO DE SEMILLAS DE CUCURBITA SPP EN LA PROVINCIA DEL CHACO CON FINES NUTRACÉUTICOS**

► **ESTRUCTURAS DE SECRECIÓN INTERNA Y EXTERNA DE ACEITES ESENCIALES EN SOLIDAGO CHILENSIS (ASTERACEAE), SU DISTRIBUCIÓN EN LOS ÓRGANOS DE LA PLANTA**

► **EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE ORQUÍDEAS SEGÚN EL TIEMPO DE INMERSIÓN EN HIPOCLORITO DE SODIO**

► **PRODUCTIVIDAD EN ALFALFA Y SORGO: ¿DISTINTOS INÓCULOS DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (HMA) TIENEN EFECTO SOBRE SU PRODUCTIVIDAD PRIMARIA?**

Innova Biology Sciences (IBS)

Revista Científica de Biología y Conservación

Vol. 1, n.º 4, mayo – agosto 2022

ISSN: 2810-8019

COMITÉ EDITORIAL

DIRECTOR:

Mg. José Jesús Guerrero-Rojas

EDITOR ACADÉMICO:

Lic. Jorge Armando Lujan Leiva

EDITOR ASOCIADO:

Dr. Samuel Isaías Acevedo Torres, PhD.

EDITOR DE CONTENIDO:

Lic. Isamar Bazo Soto

COMITÉ ASESOR EXTERNO

Dra. Claudia Tania Lomas Barrié
*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales
Agrícolas y Pecuarias, México*

M.Sc. Katherine Lisbeth Ccoica López
Agencia Espacial del Perú, Perú

Dr. Jesús Manuel Charcape Ravelo
Universidad Nacional de Piura, Perú

M.Sc. Armando Fortunato Ugaz Cherre
Universidad Nacional de Piura, Perú

Dr. Tania Araujo Burgos
Universidad del Valle, Bolivia

Dr. Jorge Ismael Tucuch Haas
*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales
Agrícolas y Pecuarias, México*

Dra. María Alma Rangel Fajardo
*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales
Agrícolas y Pecuarias, México*

EQUIPO TÉCNICO

Administrador OJS: Luis Marín Sánchez
Diseño y diagramación: Leslie Astorga García

Publicación sometida a evaluación de pares académicos
(*Peer Review Double Blinded*)

Innova Biology Sciences
Portal web: innovabiologysciences.org
Correo electrónico:
revista.ibs@innovabiologysciences.org
Entidad editora: Innova Scientific SAC
Dirección: Av. La Marina 1453, San Miguel,
Lima, Perú

Innova Biology Sciences by Innova
Scientific SAC is licensed under a Creative
Commons Reconocimiento-NoComercial-
SinObraDerivada 4.0 Internacional License

ÍNDICE

Editorial

PP. 4 - 5

Artículos de investigación

APROVECHAMIENTO DE SEMILLAS DE CURBITA SPP EN LA PROVINCIA DE CHACO CON FINES NUTRACÉUTICOS

AUTORES: *Gabriela Valenzuela, Margarita Báez, Mabel Gruszynski*

USE OF CUCURBITA SPP SEEDS IN THE PROVINCE OF CHACO, ARGENTINA FOR NUTRACEUTICAL PURPOSES

PP. 6 - 14

ESTRUCTURAS DE SECRECIÓN INTERNA Y EXTERNA DE ACEITES ESENCIALES EN *SOLIDAGO CHILENSIS* (ASTERACEAE), SU DISTRIBUCIÓN EN LOS ÓRGANOS DE LA PLANTA

AUTORES: *Marcerlo P. Hernández, Ana M. Arambarr*

STRUCTURES OF INTERNAL AND EXTERNAL SECRETION OF ESSENTIAL OILS IN *SOLIDAGO CHILENSIS* (ASTERACEAE), THEIR DISTRIBUTION IN PLANT ORGANS

PP. 15 - 23

EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE ORQUÍDEAS SEGÚN EL TIEMPO DE INMERSIÓN EN HIPOCLORITO DE SODIO

AUTORES: *Evelyn Duarte, Leonardo Da Vega, Marcela Lorena Ortiz, Aldana Samudio, Guillermo Küppers*

EVALUATION OF ORCHID SEED GERMINATION ACCORDING TO THE TIME OF IMMERSION IN SODIUM HYPOCHLORITE.

PP. 24 - 34

PRODUCTIVIDAD EN ALFALFA Y SORGO: ¿DISTINTOS INÓCULOS DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (HMA) TIENEN EFECTO SOBRE SU PRODUCTIVIDAD PRIMARIA?

AUTORES: *Roberto Emanuel Ontivero, Lucía Risio Allione, Mónica A. Lugo*

ALFALFA AND SORGHUM PRODUCTIVITY: ¿DO DIFFERENT ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI (AMF) INOCULUM AFFECT THEIR PRIMARY PRODUCTIVITY?

PP. 35 - 48

EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN PARA EL CRECIMIENTO DE LOS CUYES DE GRANJAS COMERCIALES

AUTORES: *Eduardo Vargas Luna, José Sarria Bardales*

EVALUATION OF FEEDING SYSTEMS FOR GROWING GUINEA PIGS ON COMMERCIAL GUINEA PIGS FROM COMMERCIAL FARMS

PP. 49 - 61

Gestión y valorización de la flora y fauna

MTR. JOSÉ JESÚS GUERRERO ROJAS

esojgue@hotmail.com

Biólogo con mención en Microbiología y Parasitología por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Perú).
<https://orcid.org/0000-0002-2346-5797>

A nivel global, la humanidad se ha visto enfrentada a la escasez de recursos por la sobreexplotación indiscriminada de estos, la mala administración y distribución de alimentos y la pésima gestión para su aprovechamiento y conservación; lo cual ha traído como consecuencia problemas económicos a nivel mundial generando hambruna y pobreza en más de 100 países. Como consecuencia, en el año 2015 la asamblea general de las naciones unidas aprobó la agenda 2030 para el desarrollo sostenible con 17 objetivos (ODS), los cuales tiene como misión la sostenibilidad económica, social, y ambiental. De esta manera, los objetivos 12 y 15 se centran en el uso sostenible de los ecosistemas, adecuada gestión de los recursos naturales y la correcta administración de los residuos. En ese sentido, esta segunda edición de la revista *Innova Biology Sciences* presenta diferentes propuestas de gestión, aprovechamiento y manejo adecuado de los recursos naturales (flora y fauna) para lidiar con la problemática global y de esta manera poder contribuir con los objetivos de desarrollo sostenible cuya impacto generalizado podría vislumbrar alternativas de solución a las distintas problemáticas en torno a los recursos naturales.

Los artículos presentados en esta edición tratan temas sobre el aprovechamiento y valorización de recursos orgánicos, la buena gestión para incrementar la productividad de cultivos, metodologías de germinación para la conservación de plantas y formulación de sistemas alimenticios para el crecimiento óptimo de roedores herbívoros.

El primer artículo titulado “Aprovechamiento de semillas de *cucurbita spp* en la provincia del chaco con fines nutraceuticos” presenta una valorización a las semillas de *cucurbita spp*, las cuales son desechadas como residuos por no presentar ningún valor agregado. Sin embargo, estas semillas son consideradas nutraceuticos debido a sus componentes de alimento funcional. Es así, que el trabajo se centra en la caracterización de las semillas como fuente de elementos valiosos para el organismo, tales como: Mg, K, P, Ca Y Na.

El aprovechamiento y valorización del residuo de *cucurbita spp* demuestra los potenciales beneficiosos que diariamente son desaprovechados y desechados por la

población al considerar las semillas como desperdicios sin ningún valor intrínseco. Asimismo, el segundo artículo presenta un estudio semejante al primero titulado “Estructuras de secreción interna y externa de aceites esenciales en *Solidago chilensis* (asteraceae), su distribución en los órganos de la planta”. Este trabajo examina la estructuras de secreción internas y externas de la maleza *Solidago chilensis* para determinar los lugares donde existe secreción de aceites esenciales y como estos se encuentran distribuidos en sus órganos. La valoración de los aceites esenciales es de gran importancia en la industria cosmética y medicinal por sus propiedades antisépticas, irritantes, espasmolíticos y sedantes. Es así que la determinación de los puntos de secreción por parte del *S. chilensis* permite avizorar el potencial uso y aprovechamiento de esta maleza; evitando de esta manera que sean arrojadas en depósitos como desperdicios.

Otro tema de igual importancia que el aprovechamiento de los recursos, es la gestión para la conservación y productividad de los recursos. El tercer artículo titulado “Evaluación de la germinación de semillas de orquídeas según el tiempo de inmersión en hipoclorito de sodio” parte de la preocupación global de conservar la flora silvestre, la cual es amenazada por la explotación indiscriminada, cuyos beneficios tanto económicos y ecológicos son provechosas para la población como para el medio ambiente. Es así que el trabajo evalúa la germinación in vitro de las orquídeas cuyo potencial a futuro se centraría en generación de sistemas de propagación asexuales que permitan generar bancos de germoplasmas in vitro para su conservación.

En esta misma línea, se presentan los dos últimos artículos titulados “Productividad de alfalfa y sorgo: ¿Distintos inóculos de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) tienen efecto sobre su productividad primaria?” y “Evaluación de sistemas de alimentos para el crecimiento de cuyes de granjas comerciales”, respectivamente. El cuarto artículo giran en torno a la problemática de mejorar el rendimiento de los productos mediante el correcto manejo agrónomo del suelo por asociación simbiótica con inóculos de hongos micorrícicos arbusculares para no deteriorar los recursos de alfalfa y sorgo y obtener una producción agrícola sustentable. Por otro lado, el quinto artículo plantea nuevos sistemas de alimentación para mejorar el crecimiento y peso de los cuyes y de esta manera mejorar la tecnificación en la crianza de estos roedores a nivel socio-productivo.

Los cinco artículos desarrollados en esta edición presentan potenciales innovaciones y propuestas alentadoras para el aprovechamiento y el adecuado uso de los recursos. Además, se hace un llamado a la conciencialización de la importancia de los recursos ambientales y se impulsa a la búsqueda de nuevos conocimientos, tecnologías, metodologías, ideas, propuestas y aplicaciones para generar cada vez un mayor impacto positivo al planeta. En este sentido, Innova Biology Sciences fomenta el desarrollo del conocimiento científico y su contribución hacia el desarrollo sostenible con la finalidad de alcanzar los objetivos establecidos para el año 2030.

APROVECHAMIENTO DE SEMILLAS DE *CUCURBITA SPP* EN LA PROVINCIA DEL CHACO CON FINES NUTRACÉUTICOS

Use of Cucurbita spp seeds in the province of Chaco, Argentina for nutraceutical purposes

Gabriela Valenzuela
gabriela@uncaus.edu.ar

Margarita Báez
mbae7@uncaus.edu.ar

Mabel Gruszycki
extension@uncaus.edu.ar

Universidad Nacional del Chaco Austral

Pág. 6 - 14

RECIBIDO

[03/08/2022]

ACEPTADO

[18/08/2022]

PUBLICADO

[31/08/2022]



RESUMEN

La calabaza es una planta herbácea, cuya pulpa es utilizada para consumo humano y sus semillas son desechadas, sin embargo, estas poseen nutrientes que no son aprovechados. Este trabajo tiene como objetivo realizar la caracterización botánica y química de la droga cruda de semillas de *Cucurbita spp*. Se compararon tres variedades: *C. mixta* Pangalo (calabaza rayada), *C. moschata* (Duchesne ex Lam.) Duchesne ex Poir. (coreanito) y *C. maxima* Duchesne (calabaza plomo). Los resultados obtenidos del examen visual macroscópico fueron: largo de $1,5 \text{ mm} \pm 0,1$ a $1,9 \text{ mm} \pm 0,1$; ancho de $0,8 \text{ mm} \pm 0,1$ a $1,2 \text{ mm} \pm 0,1$ y espesor de $0,2 \text{ mm} \pm 0,01$ a $0,4 \text{ mm} \pm 0$. El tamizaje fotoquímico en los extractos acuosos y alcohólicos estudiados revelando presencia de flavonoides, azúcares reductores y aminoácidos. En cuanto a los parámetros farmacognósticos: humedad de $4,68\% \pm 0,25$ a $7,10\% \pm 0,74$; cenizas de $3,87\% \pm 0,75$ a $5,02\% \pm 0,68$; cenizas insolubles $0,20\% \pm 0,13$; fibra cruda $1,768\%$. El contenido de proteínas de las semillas estudiadas ($n=3$) varió entre: $29,79\% \pm 0,66$ y $39,56\% \pm 0,78$ en masa seca (m.s.). La composición mineral fue determinada por Espectroscopia de Emisión Atómica (ICP-OES). En función de la Ingesta diaria de referencia (IDR) el aporte de los elementos esenciales mayoritarios fue significativo, siendo $\text{Mg} > \text{P} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Na}$ y, entre los elementos minoritarios Mn, Cu, Fe y Zn. Estas características estudiadas ponen de manifiesto el valioso potencial nutraceutico de las semillas de *Cucurbita spp*.

Palabras clave

calabaza; pepitas; caracterización;
valor nutricional; composición
fisicoquímica.

ABSTRACT

The pumpkin is an herbaceous plant, whose pulp is used for human consumption and its seeds are discarded, however, they have nutrients that are not used. The objective of this work is to carry out the botanical and chemical characterization of the crude drug from seeds of *Cucurbita* spp. Three varieties were compared: *C. mixta* Pangalo (striped pumpkin), *C. moschata* (Duchesne ex Lam.) Duchesne ex Poir. (koreanito) and, *C. maxima* Duchesne (lead pumpkin). The results obtained from the macroscopic visual examination were: length from $1.5 \text{ mm} \pm 0.1$ to $1.9 \text{ mm} \pm 0.1$; width of $0.8 \text{ mm} \pm 0.1$ to $1.2 \text{ mm} \pm 0.1$ and thickness of $0.2 \text{ mm} \pm 0.01$ to $0.4 \text{ mm} \pm 0$. Photochemical screening in the aqueous and alcoholic extracts studied revealed the presence of flavonoids, reducing sugars and amino acids. Regarding the pharmacognostic parameters: humidity from $4.68\% \pm 0.25$ to $7.10\% \pm 0.74$; ash from $3.87\% \pm 0.75$ to $5.02\% \pm 0.68$; insoluble ash $0.20\% \pm 0.13$; crude fiber 1,768%. The protein content of the studied seeds ($n=3$) varied between: $29.79\% \pm 0.66$ and $39.56\% \pm 0.78$ in dry mass (d.m). The mineral composition was determined by Atomic Emission Spectroscopy (ICP-OES). Based on the Reference Daily Intake (RDI) the contribution of the major essential elements was significant, being $\text{Mg} > \text{P} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Na}$ and, among the minor elements, Mn, Cu, Fe and Zn. These studied characteristics show the valuable nutritional potential of *Cucurbita* spp.

Keywords

pumpkin; nuggets; characterization;
nutritional value; physicochemical
composition.

INTRODUCCIÓN

Las especies domesticadas del género *Cucurbita* probablemente sean las plantas útiles más antiguas de América, a juzgar por los hallazgos arqueológicos efectuados en Mesoamérica (Tehuacán, México) y en los Andes Centrales (Huaca Prieta, Perú). En el Valle de Oaxaca, exactamente en la gruta de Guilá Naquitz, se encontró el más antiguo testimonio fiable de actividad agrícola, correspondiente a un fragmento de una calabaza comestible *Cucurbita pepo* L, de hace 8000 años. Por miles de años las especies del género *Cucurbita*, el maíz *Zea mays*, el frijol *Phaseolus* y los chiles *Capsicum* constituyeron componentes importantes de la dieta de las sociedades precolombinas (Rodríguez y cols., 2018).

La familia Cucurbitaceae, de acuerdo con la clasificación más reciente, contiene 118 géneros y alrededor de 825 especies, uno de los géneros más importantes es *Cucurbita*, que comprende de 20 a 27 especies (Jeffrey, 1990). Dentro del género *Cucurbita* se destacan cinco especies domesticadas: *Cucurbita argyrosperma* Huber, *C. ficifolia* Bouché, *C. maxima* Duchesne, *C. pepo* L. y *C. moschata* (Duchesne ex lam) Duchesne ex Poir, las cuales fueron domesticadas en el Nuevo Mundo y durante milenios han sido cultivadas.

Las semillas de *Cucurbita*, son usadas tradicionalmente por sus propiedades terapéuticas como antiparasitario, antiinflamatorio, analgésico y otros fines medicinales. Se les atribuye además actividades antimicrobianas, hipocolesterolémicas, antimutagénicas e inmunomoduladoras contra el cáncer, según estudios realizados por Fu y cols., 2006 sobre las propiedades farmacológicas de diferentes variedades de calabaza (*C. moschata*, *C. máxima*, *C. mixta*, *C. Ficifolia* y *Telfaira occidentalis* Hook).

Desde el punto de vista nutricional, las semillas de calabaza son muy ricas en proteínas, ácidos

grasos insaturados, contienen cantidades elevadas de vitamina A y E Gonzalez y cols., 2001. Son una fuente de alto valor energético y su consumo en el mundo se ha incrementado en los últimos años, debido a que además son también, una buena fuente de K, P, Fe y Zn. Caili Fu y cols., (2006).

La extracción del aceite de semilla se puede realizar bajo dos modalidades: a) Extracción mecánica (por presión), recomendado para semilla con contenido graso mayor a 20%, para ello se debe triturar para romper las paredes celulares de la semilla haciéndolos copos, pasándolos por rodillos o sometiéndolos a grandes presiones y. b) extracción solida liquido (disolventes), los aceites vegetales se recuperan a partir de sus semillas mediante extracción sólido-líquida o lixiviación con disolventes orgánico, también, es posible separar el soluto del solvente mediante el calentamiento de la sustancia, al tener distinto punto de ebullición, una de los dos se evaporara primero con lo cual ya tendremos el producto deseado, como disolventes en los métodos comerciales de extracción se recurre a compuestos hidrocarbonados volátiles purificados, especialmente las distintas clases de bencinas de petróleo, conocidas comúnmente como éter de petróleo, hexano o heptano. El hexano es el más utilizado tradicionalmente (Matissek, 2000).

Teniendo en cuenta su uso popular, no se dispone en nuestra región de un análisis estandarizado de la composición química y nutricional. Con este propósito se realizó el estudio comparativo de tres variedades de semillas de calabaza, con el fin de obtener criterios que permitan seleccionar la variedad cultivada en la zona, que resulte más adecuada para su empleo con fines farmacéuticos y / o como alimento funcional, y de esta manera contribuir con nuevo conocimiento que impacte en la producción agroindustrial dando valor agregado a los subproductos de *Cucurbita spp.*

MATERIALES Y MÉTODO

Origen de la semilla y preparación de las muestras

Se compararon semillas de tres variedades de *Cucurbita*: *C. mixta* Pangalo (CMi) “calabaza rayada”, *C. moschata* (Duchesne ex Lam.) Duchesne ex Poir. “coreanito” (CMo) y *C. maxima* Duchesne “calabaza plomo” (CMa). y tres lotes de cada una colectados durante los meses de abril y mayo del 2018, dentro de la provincia del Chaco (Argentina). La localización por coordenadas para estas especies fue (sur) 26°52'19,2" (oeste) 60°13'16,2". Las semillas fueron limpiadas y secadas en estufa a 400C, durante 72hs. Posteriormente se molieron en un molinillo a cuchilla hasta tamaño inferior a 2,00 mm. Las muestras se almacenaron a temperatura ambiente (25 °C) y 95 % de humedad relativa. Este material fue empleado para el estudio de caracterización.

Parámetros farmacognósticos

Análisis morfológico macroscópico

Se realizó un examen visual macroscópico de las características morfológicas del material vegetal: semillas de calabaza, respecto de sus dimensiones: largo, ancho y espesor.

Humedad residual

El método se basa en la determinación gravimétrica de la pérdida de masa de la muestra desecada, hasta masa constante en estufa a 130 °C, de acuerdo a AOAC (1990). Método 925.08.

Cenizas Totales

Por incineración en mufla a 675 °C, según Farmacopea Argentina VII Ed., 2003. Capítulo 630. p 247.

Cenizas insolubles

Se analizaron las cenizas insolubles en ácido clorhídrico con posterior incineración, según Farmacopea Argentina VII Ed., 2003. Capítulo 630. p 248.

Contenido calórico

El contenido calórico de las semillas (Contenido/aporte energético) fue examinado utilizando una bomba calorimétrica adiabática (Mod. PARR 1261).

Proteínas

Se determinó por el método Kjeldahl, según (AOAC 2.057, 1990).

Análisis de minerales

El análisis mineral en las semillas fue realizado mediante espectrometría de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) según AOAC (2000) método oficial 985.01. Detección Límite 1ppb. Antes del análisis las muestras de las semillas secas fueron incineradas en horno de mufla a 500 °C previa extracción ácida.

Obtención de los extractos

Los extractos acuosos y alcohólicos fueron obtenidos a partir de las semillas, utilizándose 4 gr de semillas secas y molidas por cada 100 ml de solvente, según técnicas de la Farmacopea Argentina VII Ed.

El extracto lipofílico se realizó mediante un equipo tipo soxhlet de acuerdo con la norma AOAC. Para ello, 10 g de semillas de calabaza molidas se extrajeron con 100 ml de n-hexano a 90 °C durante 6 h. Luego, el aceite fue concentrado en un rota evaporador (Buchi rotavapor R-114, Suiza®) y secado a 105 °C hasta obtener un peso constante.

Rendimiento de los extractos

El rendimiento de los extractos se realizó mediante el ensayo de pérdida por secado hasta peso constante a 105°C, según Farmacopea Argentina VII Ed., 2003. Capítulo 630. p 248.

Determinaciones químicas

Tamizaje fitoquímico

Se realizó el estudio fitoquímico de los extractos acuosos y alcohólicos de todas las especies, por reacciones de precipitación y coloración, según procedimientos descritos por Domínguez (1985)

Análisis de datos

Los resultados se analizaron mediante ANOVA de un factor ($P < 0.05$) y se empleó la prueba LSD para la comparación de medias. Se utilizó el programa estadístico STATGRAPHICS Plus.

DESARROLLO

Análisis macroscópico

Se realizó el estudio de caracterización botánica y química de la droga cruda de la semilla de *Cucurbita spp.* Se compararon tres variedades de semillas: *C. mixta* Pangalo (calabaza rayada), *C. moschata* (Duchesne ex Lam.) Duchesne ex Poir. (coreanito) y, *C. maxima* Duchesne (calabaza plomo). Los resultados obtenidos del examen visual macroscópico fueron los siguientes: largo de 1,5 mm $\pm$ 0,1

a 1,9 mm $\pm$ 0,1; ancho de 0,8 mm $\pm$ 0,1 a 1,2 mm $\pm$ 0,1 y espesor de 0,2 mm $\pm$ 0,01 a 0,4 mm $\pm$ 0,1.

Los resultados obtenidos en la determinación de los parámetros farmacognósticos estudiados en cada una de las semillas de las tres variedades - humedad residual, cenizas totales y cenizas solubles- se muestran en la Tabla 1, los cuales fueron relativamente bajos y similares a los reportados por Idouraine et al. (1996) en *Cucurbita pepo* y Abreu Payrol y cols., (2001) en otras variedades de *Cucurbita*. Diferencias significativas ($p < 0.05$) fueron observadas al analizar estos parámetros en las semillas de las cuatro variedades estudiadas.

Tabla 1. Contenido porcentual de humedad residual, cenizas y sustancias insolubles determinadas en las diferentes semillas de *Cucurbita* spp

Parámetros	(CMi) ^a	(CMo) ^a	(CMA) ^a
Humedad Residual %	5,34 $\pm$ 0,70	4,68 $\pm$ 0,25	7,10 $\pm$ 0,74
Cenizas Totales %	5,02 $\pm$ 0,68	4,55 $\pm$ 0,30	3,87 $\pm$ 0,75
Cenizas Solubles %	0,20 $\pm$ 0,13	0,30 $\pm$ 0,04	0,49 $\pm$ 0,10

Fuente: elaboración propia.

^aCada valor representa el valor promedio $\pm$ la desviación estándar de los análisis por triplicado

Los valores de contenido calórico de las semillas de las cuatro variedades de calabaza (Tabla 2) se encontraron dentro del rango reportado por Idouraine y cols., (1996) para *Cucurbita pepo* L. La prueba de comparación de medias LSD ($p < 0.05$) mostró que estos fueron semejantes para *C. moschata* y *C. máxima*, siendo diferente y menor para *C. Mixta*.

Tabla 2. Contenido calórico (Contenido/aporte energético) de las diferentes variedades de semillas de *Cucurbita* spp.

Muestra	Masa (g) ^a	ΔT (°C) ^a	Hc (Kcal./100g) ^a
(CMi)	0.2373	0.71416	546,8 $\pm$ 35
(CMo)	0.3283	1.06236	582,2 $\pm$ 80
(CMA)	0,2545	0,61518	582,6 $\pm$ 09

Fuente: elaboración propia.

^aCada valor representa el valor promedio $\pm$ la desviación estándar de los análisis por triplicado

El contenido de proteínas de las semillas estudiadas ($n=3$) varió entre: 29,79% $\pm$ 0,66 y 39,56% $\pm$ 0,78 en masa seca (m.s). Estos resultados están de acuerdo con los hallados por Idouraine y cols., (1996) en *C. moschata* y *C. pepo* (34,5% y 44,4%, respectivamente). Además, son comparables con los obtenidos por Martin (1998) en *C. máxima* (35%) y Achu y cols., (2005) quienes hallaron en semillas de *Cucurbita* contenidos de proteína entre 30-40%. Además, estos son superiores a los de otras semillas oleaginosas como nueces de marañón (22,8%), algodón (21,9%) y sésamo (18,7%) (FAO, 1982).

Los aceites extraídos son de color verde y el contenido de lípidos varió entre 30,4 $\pm$ 0,8 a 40,8 $\pm$ 2,5 % en m.s. El análisis de varianza muestra una diferencia significativa en el contenido de lípidos

en estas semillas ($p < 0,05$). Estos valores son inferiores a los obtenidos por Murkovic y cols., (1996) con contenido de aceite de 41.8 a 54.9% y a los determinados por Idouraine y cols., (1996) de 34,5-43,6% ambos en *C. pepo* y también son inferiores a los de girasol 45,6% y maní 47,5% (FAO, 1982), pero superiores a los de soja 19,1% (Oyenuga, 1968).

Contenido Mineral

La concentración de minerales se exhibe en la Tabla 3. De los macroelementos, el fósforo (P) es el elemento que se presenta en mayor abundancia en las semillas de las cuatro variedades de calabaza estudiadas. De acuerdo con la Ingesta Diaria de Referencia (DRI), la ingesta diaria adecuada de P para un adulto es de 700 mg (IOM, 2000a). Por tanto, el consumo de 100 g de semillas secas de calabaza suministraría un elevado nivel de P, entre un 46 y 71% del DRI de P para un adulto promedio, destacándose Cucurbita máxima por su mayor aporte en P.

Los valores de Magnesio (Mg) y Potasio (K) expresados en mg/100 g de semilla fueron muy semejantes. Sin embargo, el DRI para Mg según IOM (2000a) es de 320 y 420 mg para mujeres y hombres adultos respectivamente, mientras que el DRI para K es de 4700 mg para un adulto promedio. Por consiguiente, los consumos de 100 g de semillas secas podrían suministrar entre un 79 y 119% (para mujeres) y un 60 a 91% (para hombres) de los requerimientos diarios necesarios de Mg, mientras que el consumo de la misma cantidad de semillas secas suministraría un valor mucho más bajo de K (6 a 7%) del DRI para un adulto promedio. El mayor contenido de Mg fue encontrado en *C. máxima* mientras que *C. mixta* fue quien presentó el mayor nivel de K. En general, las semillas de las cuatro variedades de zapallos proporcionan bajos valores de Calcio (Ca) y sodio (Na), que representan entre una 2 a 5,5% de la DRI recomendada.

Los dos microelementos evaluados, Hierro (Fe) y Zinc (Zn) fueron hallados en altas concentraciones, representando entre un 84 a 272% del DRI de Fe (para mujeres) y un 37 a 120% (para hombres), así como un 46 a 70% (para mujeres) y 73 a 96% (para hombres) de Zn. A pesar de que Idouraine et al. 1996 reporta valores diferentes, Akwaowo y cols., (2000) muestra una tendencia similar para P, K y Fe.

Tabla 3. Contenido mineral (mg/100g de peso seco) en las diferentes variedades de semillas de *Cucurbita* spp.

Mineral mg/100g p.s	DRI mg/día ^a	(CMi) ^b	(CMo) ^b	(CMA) ^b
Macro				
Fósforo	700	502 ± 70	455 ± 32	387 ± 24
Potasio	4700	352 ± 35	344 ± 23	333 ± 18
Calcio	1000	46 ± 04	55 ± 10	37 ± 07
Magnesio	320-420	356 ± 20	381 ± 32	265 ± 43
Sodio	1500	82 ± 12	30 ± 15	17 ± 02
Micro				
Hierro	18-8	7 ± 07	8 ± 08	8 ± 09
Zinc	8-11	5 ± 10	8 ± 09	6 ± 07

Fuente: elaboración propia.

^aIngesta diaria de referencia (DRI) recomendadas por la US Food and Nutrition Board of the (IOM) (2000a, 2001, 2004). Valores indicados para mujeres y hombres adultos (19-50 años).

^bCada valor representa el valor promedio + la desviación estándar de los análisis por duplicado.

Tamizaje fitoquímico

Los ensayos realizados se muestran en la Tabla 4. Dichos ensayos confirmaron la presencia de aminoácidos en mayor proporción y de azúcares en ambos extractos y débil presencia de flavonoides en los extractos alcohólicos siendo más positiva en la variedad Coreanito (*C. moschata*), y ausencia de los demás metabolitos en ambos extractos analizados, observándose una semejanza cualitativa en las cuatro variedades, coincidente con Bokova y cols., (1982).

La presencia de aminoácidos fue confirmada por medio de dos técnicas de cromatografía en capa delgada, (sílicagel no fluorescente/ ninhidrina, fase móvil: metanol; cloroformo; amoníaco 25%; ácido acético (80:15:8,5: 1,5) según Schenkel E. 1992; silicagel fluorescente y lámpara UV, fase móvil: n-propanol; acetato de etilo; agua; ácido acético (4:3:2:1); revelando una marcada presencia de aminoácidos.

Tabla 4. Estudio fitoquímico por reacciones de precipitación y coloración en los extractos acuosos y alcohólicos en las diferentes variedades de semillas de *Cucurbita* spp.

Ensayos		Extractos					
		Acuosos			Alcohólicos		
		(CMi)	(CMo)	(CMa)	(CMi)	(CMo)	(CMa)
Baljet	<i>Sesquiterpénicos</i>	-	-	-	-	-	-
Espuma	<i>Saponinas</i>	-	-	-	-	-	-
Gelatina	<i>Taninos</i>	-	-	-	-	-	-
C IFe ₃	<i>Hidroxilos Fenólicos.</i>	-	-	-	-	-	-
Shinoda	<i>Flavonoides</i>	-	-	-	+	++	+
Liebermann-Burchard	<i>Esteroides</i>	-	-	-	-	-	-
Draegen-Dorff	<i>Alcaloides</i>	-	-	-	-	-	-
Fehling	<i>Azúcares Reductores</i>	++	++	++	++	++	++
Ninhidrina	<i>Aminoácidos</i>	+++	+++	+++	+++	+++	+++

Fuente propia

Los resultados de rendimiento de los extractos (Tabla 5), muestran el mejor rendimiento para los extractos de la variedad Coreanito (*C. moschata*). Diferencias significativas ($p < 0.05$) fueron observadas al analizar este parámetro en los extractos de las semillas de las tres variedades estudiadas.

Tabla 5. rendimiento de extracto expresado como contenido g/g*100 de materia extraíble determinado en las diferentes semillas de *Cucurbita spp.*

Muestra	Rendimiento extractos (contenido g/g*100 de materia extraíble) ^a		
	Acuosos	Alcohólicos	Lipofílicos
(CMi)	1,2 ± 0,17	1,0 ± 0,07	5,7 ± 0,02
(CMo)	2,4 ± 1,51	1,0 ± 0,53	15,1 ± 0,05
(CMa)	1,4 ± 0,05	0,8 ± 0,13	10,0 ± 0,15

Fuente: elaboración propia.

^aCada valor representa el valor promedio ± la desviación estándar de los análisis por triplicado

CONCLUSIONES

La industria nutracéutica ha presentado una expansión exponencial en los últimos años, lo cual ha generado como efecto que la demanda de productos empiece a superar la oferta.

Las variedades de *Cucurbita spp* estudiadas han demostrado ser frutos cuyos subproductos agroindustriales tienen amplio aprovechamiento en la industria farmacéutica, enfocándose en el uso de estas semillas para el enriquecimiento de alimentos o para la elaboración de una presentación farmacéutica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu Payrol, J., Saborido Martín, L., Suárez Pérez, E., Delgado Castillo, R., & Miranda Martínez, M. (2001). Estudio Farmacognóstico de la droga cruda de la semilla de calabaza (*Cucurbita SPP*). *Revista Cubana de Farmacia*, 35(3), 199-202.
- Akwaowo, E. U., Ndon, B. A., & Etuk, E. U. (2000). Minerals and antinutrients in fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis* Hook f.). *Food chemistry*, 70(2), 235-240.
- American Oil Chemists Society, Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society (AOAC), Ed. Firestone, Champaign, Illinois, 2002.
- Artica, L., Baquerizo, M., Rosales, A., & Rodríguez, G. (2016). Aprovechamiento de semillas de cucurbita ficifolia y cucurbita máxima para la extracción de aceite y uso en la industria alimentaria. *Prospectiva Universitaria*, 13(1), 66-74.
- Bokova NA, Samylina IA, Baratova LA. (1982) Phytochemical study of the seeds of the squash. *Farmatsiya* 31(2):17-8.
- Caili, FU, Huan, S. y Quanhong, LI (2006). Una revisión de las actividades farmacológicas y tecnologías de utilización de la calabaza. *Alimentos vegetales para la nutrición humana*, 61 (2), 70-77.
- Dominguez, Xorge A. (1973). Métodos de Investigación fitoquímica. Ed Limusa S.A. ed. 4ª reimpresión (1985)
- Farmacopea Argentina Séptima ed. Página web en línea: Acceso: 15/11/2014. http://www.anmat.gov.ar/webanmat/fna/pfds/Libro_Primeropdf
- Jeffrey, C. (1990). Appendix. An outline classification of the Cucurbitaceae. Págs. 3- 9. Biology and utilization of the Cucurbitaceae. Cornell University Press. Ithaca, Nueva York.
- Matissek R, Schenepel F, Steiner G. (2000). Análisis de los alimentos. Zaragoza, España: Editorial Acriba S.A.; p. 44-54.
- Rodríguez, R. A., Valdés, M. P., & Ortiz, S. (2018). Características agronómicas y calidad nutricional de los frutos y semillas de zapallo *Cucurbita* sp. *Revista colombiana de ciencia animal recia*, 10(1), 86-97.
- Schenkel, E., Duez, P., & Hanocq, M. (1992). Stereoselective determination of cucurbitine in *Cucurbita* spp. seeds by gas chromatography and gas chromatography—mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 625(2), 289-298.

ESTRUCTURAS DE SECRECIÓN INTERNA Y EXTERNA DE ACEITES ESENCIALES EN *SOLIDAGO CHILENSIS* (ASTERACEAE), SU DISTRIBUCIÓN EN LOS ÓRGANOS DE LA PLANTA

Structures of internal and external secretion of essential oils in Solidago chilensis (Asteraceae), their distribution in plant organs

Marcelo P. Hernández^{1, 2, 3, 4}

hernandezmarcelopaulo@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0600-2707>

Ana M. Arambarr^{5*}

anaramba@yahoo.com.ar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1230-0751>

Pág. 15 - 23

RECIBIDO

[14/01/2022]

ACEPTADO

[12/03/2022]

PUBLICADO

[30/04/2022]



RESUMEN

Solidago chilensis Meyen., es una maleza tóxica para el ganado, con amplia distribución en la Argentina. El objetivo de este trabajo fue brindar un compendio ilustrado de las estructuras de secreción interna y externa de aceites esenciales y su distribución en los órganos de *S. chilensis*. Para identificar los aceites esenciales se usaron los reactivos Sudán IV, Sudán black "B", oil red "O" y rojo neutro. Todos los órganos (raíz, rizoma, tallo aéreo, hoja, eje floral, pedúnculo y filarios de la inflorescencia) presentan reservorios esquizógenos con epitelio uniseriado secretor de aceites esenciales; las papilas y tricomas

Palabras clave

aceites esenciales; Asteraceae;
reservorios; *Solidago chilensis*;
tricomas.

¹Laboratorio de Morfología Comparada de Espermatófitas (LAMCE) y

²Cátedra de Morfología Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), Universidad Nacional de La Plata (UNLP), 60 y 119, CC 31 (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina.

³Cátedra de Sistemática Vegetal, FCA y F, UNLP.

⁴Cátedra de Botánica Sistemática II, Facultad de Ciencias Naturales y Museo de La Plata (FCNyM), UNLP, 60 y 122 (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina.

⁵División Plantas Vasculares, FCNyM, UNLP, Paseo del Bosque s/n (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina.

*Autor correspondiente: Dirección postal: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, 60 y 119, CC 31 (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina. Tel. (54) (0221) 423-6758

glandulares forman el tejido secretor externo donde se identificaron gotas oleosas, hallándose de manera predominante en las flores. Los aceites esenciales poseen numerosas funciones para la planta en sí misma y, para el hombre por sus propiedades medicinales y su posible uso en el control biológico de patógenos vegetales. El conocimiento brindado en este estudio es base para la profundización en la investigación sobre metodologías para el aislamiento y separación de los aceites esenciales, permitiendo realizar ensayos para su posterior uso, por ejemplo, como suplemento dietario (medicinal) o en el control biológico de patógenos de cultivos agrícolas, forestales u ornamentales. En cuanto al cultivo de *S. chilensis*, debería incrementarse para poder encarar la producción de aceites sin afectar las poblaciones naturales y evitar alterar el ecosistema.

ABSTRACT

Solidago chilensis Meyen, a toxic weed for livestock, is widely distributed in Argentina. The aim of this work was to provide an illustrated compendium of the internal and external secretion structures of essential oils and their distribution in the organs of *S. chilensis*. The reagents Sudan IV, Sudan black "B", oil red "O" and neutral red were used to identify the essential oils. All organs (root, rhizome, aerial stem, leaf, floral axis, peduncle and phyllaries of the inflorescence) have schizogenous reservoirs with uniseriate epithelium secreting essential oils; papillae and glandular trichomes form the external secretory tissue where oily droplets were identified, being predominantly found in the flowers. Essential oils have numerous functions for the plant itself, for humans due to their medicinal properties and their possible use in the biological control of plant pathogens. The knowledge provided in this study is the basis for further research on methodologies for the isolation and separation of essential oils, allowing trials to be carried out for their subsequent use, for example as a (medicinal) dietary supplement or in the biological control of pathogens of agricultural, forestry or ornamental crops. Cultivation of *S. chilensis* should be increased in order to be able to undertake oil production without affecting natural populations and to avoid disturbing the ecosystem.

Keywords

Asteraceae; essential oils; reservoirs; *Solidago chilensis*; trichomes.

INTRODUCCIÓN

Solidago chilensis Meyen conocida como "vara de oro", es una hierba sudamericana que pertenece a la familia de las Asteraceae (Cabrera, 1963). Crece en 22 de las 23 provincias argentinas, además de los países vecinos de Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay (Zuloaga et al., 2019). Es maleza rizomatosa, de hábito gregario que adquiere características de invasora resultando difícil de extirpar (Marzocca et al., 1986), además es planta tóxica para el ganado por el contenido de saponinas (Gallo, 1979). *Solidago chilensis* es también una importante planta medicinal, utilizada popularmente como antiséptico, anti-reumático (antiinflamatorio), cicatrizante y para el tratamiento de desórdenes gastrointestinales (Zampini et al., 2007; Bucciarelli et al., 2010). Otro aspecto interesante de esta especie, es la actividad antioxidante de los aceites esenciales. Al respecto, González et al. (2013) encontraron que el aceite de *S. chilensis* en muestras de la Patagonia (Argentina) tiene una actividad antioxidante equivalente a 1 mg de vitamina C por cada 16,5 ml e identificaron en su composición limoneno y D-germacreno. Gastaldi, et al. (2016) atribuyeron la propiedad antioxidante al elevado contenido de limoneno. De acuerdo con the World Health Organization (WHO) (1998) y Molares et al. (2009), la descripción anatómica y localización de las estructuras secretoras tiene valor para la selección del mejor método de extracción de los aceites esenciales. En el presente estudio el objetivo fue establecer las estructuras de secreción interna y externa de los aceites esenciales y su distribución en los órganos de *S. chilensis*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material estudiado

En los años 2011-2014 se recolectaron plantas en estado vegetativo y reproductivo a orillas de la Av. Río de La Plata que une las ciudades de La Plata y Berisso, latitud 34° 50'49,40" S y longitud 57° 50'48,49" O, provincia de Buenos Aires, Argentina. También se utilizó material de plantas creciendo en el área del Jardín Botánico y Arboretum "C. Spegazzini", Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), UNLP y de ejemplares cultivados en jardines domiciliarios. Ejemplares testigo fueron depositados en el herbario de La Plata Facultad de Agronomía (LPAG), Universidad Nacional de La Plata. 07-III-2012, *Hernández* 99, 100 (LPAG). La nomenclatura científica corresponde a International Plant Names Index (IPNI - <http://www.ipni.org/>) (Acceso: 10 Marzo 2021).

Análisis cualitativo colorimétrico sobre porta-objeto

Para determinar las sustancias lipofílicas los cortes transversales de los órganos fueron testeados con los reactivos Sudán IV (Zarlavsky, 2014) y Oil red "O" (Gurr, 1971). Las flores fueron diafanizadas con el método de Dizeo de Strittmatter (1973) y para los tests se usaron los reactivos Sudán IV, Oil red "O", Sudán black "B" (Zarlavsky, 2014), y rojo neutro (Cosa *et al.*, 2014). Algunos cortes transversales fueron decolorados, lavados y coloreados con solución alcohólica de safranina 80% y solución acuosa de violeta de cresilo al 1%. Las preparaciones se montaron en glicerina 90% y en gelatina-glicerina sellando con esmalte de uñas (D'Ambrogio de Argüeso, 1986).

Análisis microscópico, fotomicrografías y terminología

Las flores fueron fotografiadas con cámara digital Sony DSC-W30. Para el análisis y toma de microfotografías se usaron los microscopios ópticos Leitz SM lux equipado con Moticam y software motic image plus 2.0. Lancet XSP-136D equipado con Toupcam y digital camera solution disk. Para la descripción de los tricomas se consultó Ramayya (1962). Para indicar las estructuras secretoras internas se utilizó el término reservorio propuesto por Lersten y Curtis (1989), reemplazando la frecuente denominación de conductos.

RESULTADOS

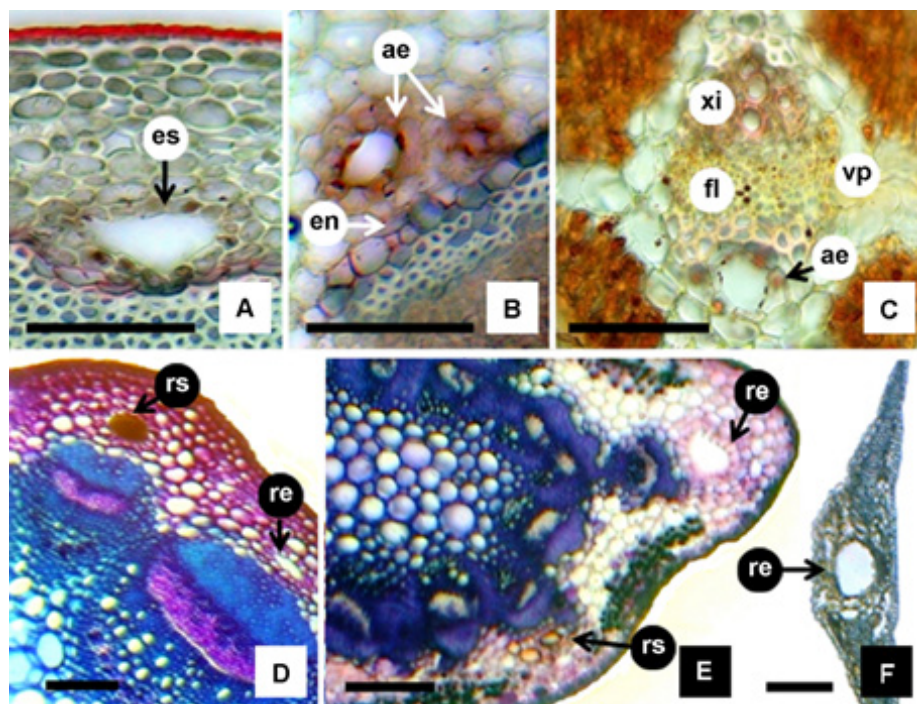
Estructuras de secreción interna

En *S. chilensis* los reservorios esquizógenos presentan un epitelio uniseriado secretor de aceites esenciales (Fig. 1A). En todos los órganos estos reservorios se encuentran enfrentados al floema y localizados en el parénquima por fuera de la endodermis, excepto en la hoja donde el reservorio si bien se ubica del lado del floema es interno a la vaina parenquimática del haz vascular.

En el corte transversal de la raíz, en el parénquima cortical hay un reservorio por cordón de floema, de manera similar en el tallo aéreo se encuentra un reservorio cortical muy próximo a la endodermis y enfrentado a las fibras del floema (Fig. 1A). En el rizoma en corte transversal la eustela del cilindro central está formada por numerosos haces vasculares (más de 20), rodeada por la endodermis, en cuya proximidad, en el parénquima cortical y frente a las fibras del floema de cada haz vascular se localizan 1-3 reservorios secretores (Fig. 1B). El rizoma es el órgano con mayor número de reservorios. En la hoja, la localización del reservorio en la vena media es junto al floema y ubicado interno a la vaina parenquimática (Fig. 1C), mientras que en el mesófilo de las alas algunos haces vasculares secundarios o terciarios presentan dos reservorios uno abaxial y otro adaxial, ambos internos a la vaina parenquimática. En el corte transversal del tallo floral o eje de la inflorescencia y el pedúnculo floral (Fig. 1D, E) se presenta una eustela similar al tallo aéreo, pero con ausencia de la endodermis, los reservorios están ubicados en el parénquima cortical y se localizan frente a las fibras del floema,

aunque no están presentes en todos los haces vasculares. En el corte transversal del filario o bráctea involucral del capítulo, el haz medio está reducido y hay un amplio reservorio central (Fig. 1F).

Fig. 1. Localización de los reservorios en el corte transversal de órganos de *S. chilensis*.

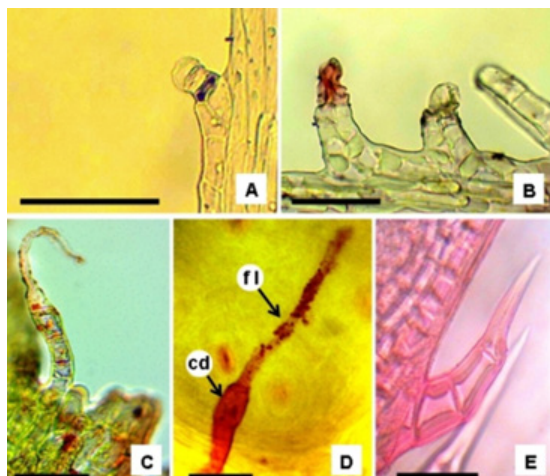


Fuente: Elaboración propia

A: tallo aéreo con un amplio reservorio ubicado frente a las fibras del floema, con gotas oleosas en el epitelio secretor. **B:** rizoma, detalle de dos reservorios en el parénquima cortical próximo a la endodermis y enfrente de las fibras del floema. **C:** lámina, haz de la vena media mostrando un reservorio abaxial junto al floema e interno a la vaina parenquimática, con notables gotas oleosas (Sudán IV). **D:** tallo floral, mostrando los reservorios en el parénquima cortical frente al floema de los haces vasculares, uno de ellos lleno de resinas. **E:** pedúnculo floral, mitad del corte transversal mostrando parte de la eustela con reservorios frente a los floemas de algunos haces vasculares y uno amplio en la expansión lateral. **F:** filario del capítulo con un notable reservorio en el centro. Escalas: A-F: 100 μ m. Abreviaturas= ae: aceites esenciales; en: endodermis; es: epitelio secretor; fl: floema; re: reservorio; rs: resinas; vp: vaina parenquimática; xi: xilema.

Estructuras de secreción externa

En *S. chilensis* el indumento está formado por tres tipos de tricomas glandulares secretores y uno no glandular: i) glandular uniseriado capitado, pie 2-3 celular y cabeza unicelular, observados en el margen del filario (Fig. 2A); ii) glandular biseriado simple, con el pie biseriado con células terminales secretoras, en la inflorescencia en general, por ejemplo en los filarios (Fig. 2B); iii) glandular flagelado bulboso, pie 2-10 celular, generalmente dos celular, con la célula distal globosa oblonga que conecta con la célula apical larga, delgada, tenue, flageliforme, hallados sobre ambas caras de la lámina foliar y en la inflorescencia (Fig. 2C, D); iv) no glandular cónico multicelular, agudo, incurvado, rígido con paredes laterales gruesas, observados en el margen foliar y el eje de la inflorescencia (Fig. 2E).

Fig. 2. Tricomas de *Solidago chilensis*.

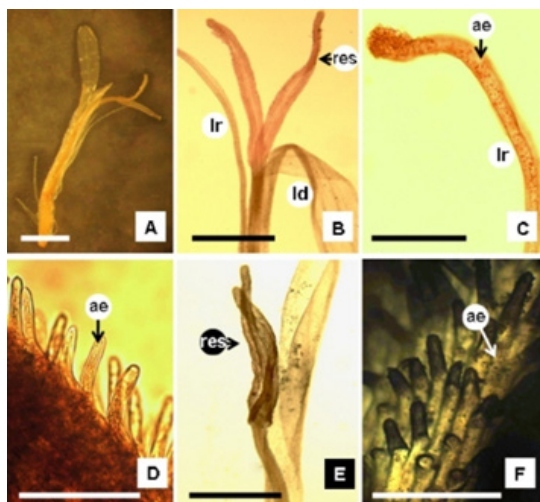
Fuente: Elaboración propia

A: glandular uniseriado capitado. **B:** glandulares biseriados simples con células terminales secretoras colapsadas (Oil red "O"). **C:** glandular flagelado bulboso (gfb) con pie pluricelular. **D:** tricoma gfb con pie bicelular, mostrando célula distal globoso-oblonga (bulbosa) y flagelo lleno de gotas de aceites esenciales (Oil red "O"). **E:** tricoma no glandular, cónico simple, uniseriado, pluricelular con célula terminal aguda y paredes engrosadas (safranina). Escalas: A-E: 50 µm. Abreviaturas= cd: célula distal del pie; fl: flagelo.

Las flores y sus papilas

Las flores liguladas y tubulosas presentan tejidos con alto contenido de aceites esenciales. Las partes florales conteniendo gotas oleosas se identificaron positivamente con diferentes reactivos Sudán IV, Sudán black "B", Oil red "O" y Rojo neutro.

La flor ligulada femenina, está formada por una corola dividida en dos labios, uno desarrollado y otro reducido con el extremo papiloso (Fig. 3A, B). Las gotas oleosas fueron evidentes en el labio reducido y papilas (Fig. 3C). En el estilo-estigma, las ramas estigmáticas lineales y papilosas reaccionaron positivamente al tratarlas con Sudán IV y Sudán black "B" (Fig. 3B, D y Fig. 3E, F, respectivamente).

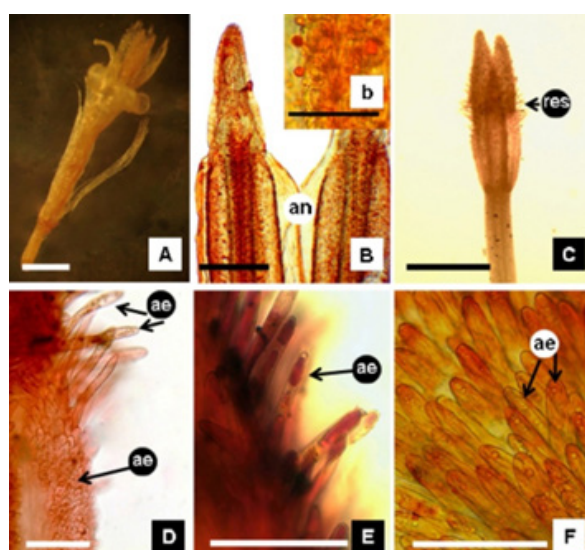
Fig. 3. Flor ligulada de *Solidago chilensis*.

Fuente: Elaboración propia

A: vista general. **B:** detalle de la corola y estilo-estigma (Sudán IV). **C:** detalle de labio reducido de la corola mostrando contenido de aceites esenciales, tratado con el reactivo Sudán IV. **D:** detalle de las papilas estigmáticas con gotas de aceites esenciales puestas de manifiesto con Sudán IV. **E:** Reacción positiva de las ramas estigmáticas con Sudán black "B". **F:** detalle de las papilas estigmáticas mostrando reacción positiva con Sudán black "B". Escalas: A, B, E: 1 mm; C: 300 μ m; D, F: 100 μ m. Abreviaturas= ae: gotas de aceites esenciales; ld: labio de la corola desarrollado; lr: labio de la corola reducido; res: ramas estigmáticas.

La flor tubulosa, hermafrodita (Fig. 4A), presenta los 5 estambres con anteras ricas en gotas oleosas, principalmente el conectivo y apéndice conectival (Fig. 4B,b); el estilo-estigma tiene dos ramas estigmáticas gruesas con pelos estigmáticos todos ellos con abundantes gotas de aceites esenciales, que dieron reacción altamente positiva con los reactivos usados (Fig. 4C-F).

Fig. 4. Flor tubulosa de *Solidago chilensis*.



Fuente: Elaboración propia

A: vista general. **B:** estambres mostrando parte de las anteras, b: detalle de gotas de aceites esenciales contenidos en el conectivo y apéndice conectival de las anteras (Oil red "O"). **C:** ramas estigmáticas gruesas con papilas estigmáticas (Sudán IV). **D-F:** detalle de papilas estigmáticas llenas de gotas de aceites esenciales, reacción positiva con Sudán IV (**D**), rojo neutro (**E**) y Oil red "O" (**F**). Escalas: A, C: 1 mm; B: 300 μ m; b: 50 μ m; **D-F:** 100 μ m. Abreviaturas= ae: aceites esenciales; an: antera; res: ramas estigmáticas.

DISCUSIONES

Solidago chilensis es una especie con gran capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales con tolerancia a la alta variabilidad climática existente en el presente. Es tolerante a la sequía, habiéndose ensayado su cultivo como planta ornamental y melífera en regiones con déficit hídrico (Gil et al., 2012), también fue citada por Cantero et al. (2019) como una especie de múltiples aplicaciones y con valor económico.

Durante los últimos años, se ha destacado la actividad antioxidante de los aceites esenciales de *S. chilensis*. Gastaldi et al. (2016), identificaron los componentes volátiles en los aceites esenciales, entre ellos destacan en *S. chilensis*, el mayor porcentaje de limoneno (31,2%) y germacreno D (36,6%). Los mismos autores determinaron que la infusión de *S. chilensis* tiene una actividad antioxidante similar al "té verde", *Camellia sinensis* (L.) Kuntze y superior al *Ginkgo biloba* L., especies reconocidas mundialmente

por su contenido de antioxidantes. Una situación similar la ofreció *Acantholippia seriphioides* (A. Gray) Molkende (Verbenaceae), donde los antioxidantes serían timol y carvacrol y una tercera especie que presentó aún mayor actividad antioxidante fue *Buddleja globosa* Hope (Buddlejaceae).

La presencia de estos compuestos volátiles resulta de gran interés ya que además de la propiedad medicinal mencionada, desempeñan importantes funciones ya que pueden actuar como señales para otros organismos y para la propia planta, pueden modificar el entorno de las especies que los producen, constituyen elementos de comunicación química por su volatilidad y aroma, para atraer polinizadores o dispersores de semillas, como defensa al repeler insectos o detener la actividad antimicrobiana (bactericida, fungicida); actúan en la atracción y repelencia de insectos, atracción de parasitoides (Marín-Loaiza y Céspedes, 2007).

Los aceites esenciales ofrecen un importante campo de estudio y aplicación que es el uso para el control de patógenos, e. g., ensayo de control de nemátodos (*Nacobbus aberrans*) con aceites esenciales de *Pascalia glauca* Ortega (Ripodas *et al.*, 2018).

En la familia Asteraceae, las estructuras secretoras internas denominadas aquí reservorios se corresponden con los “conductos resiníferos” de Metcalfe & Chalk (1950). El número elevado de reservorios en el rizoma, es coincidente con los canales hallados por Ragonese (1988) en *Eupatorium inulaefolium* H.B.K. (Asteraceae), compartiendo el concepto que las condiciones subterráneas favorecen el desarrollo de estructuras secretoras internas.

En las Asteraceae las estructuras secretoras externas más frecuentes son los tricomas biseriados capitados que conjuntamente con los flageliformes forman los “nidos pilosos” de muchas especies (Ariza Espinar, 1973). En *S. chilensis*, no se hallaron los tricomas biseriados capitados ni los nidos pilosos, pero sí, están presentes los flageliformes que durante muchos años se consideraron tricomas no glandulares con función de protección, hasta que Budel *et al.* (2018) demostraron que actúan como secretores de aceites esenciales y les atribuyeron dos funciones, protección y secreción. Posteriormente, por medio de la histoquímica, se ha reiterado la identificación de la función secretora de estos tricomas, e.g., en otras especies del género *Baccharis* (Ornellas *et al.*, 2019; Carbone *et al.*, 2021) y el mismo resultado se obtuvo en *Solidago chilensis*.

CONCLUSIONES

Los aceites esenciales se encuentran en todos los órganos de *S. chilensis*. En estructuras secretoras internas (reservorios esquizógenos) con epitelio uniseriado secretor; estos reservorios se encuentran en mayor número en los rizomas. En estructuras secretoras externas (tricomas y papilas estigmáticas), mostrando las flores la mayor concentración de aceites esenciales. Estos compuestos oleosos poseen numerosas funciones para la propia planta, tienen gran valor en medicina y podrían tenerlo en el control biológico de patógenos vegetales. La localización de las estructuras son base de conocimiento para desarrollar la investigación sobre el mejor método para el aislamiento y separación de los aceites esenciales, para luego realizar estudios farmacológicos y médicos que corroboren la eficacia y posible dosis de toxicidad del extracto, para el posterior uso de esos aceites, por ejemplo como suplemento dietario (medicinal) o en pruebas para establecer su eficacia como bioplaguicidas para el control de patógenos de cultivos agrícolas, forestales u ornamentales. En cuanto al cultivo de *S. chilensis*, existen algunos ensayos que se sugiere deberían incrementarse antes de encarar la producción de aceites para no afectar las poblaciones naturales y conservar el ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ariza Espinar, L. (1973). Las especies de *Baccharis* (Compositae) de Argentina Central. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias* 50: 1-305.
- Bucciarelli, A., Minetti, A., Milczakowskyg C. y Skliar M. (2010). Evaluation of gastroprotective activity and acute toxicity of *Solidago chilensis* Meyen (Asteraceae). *Pharmaceutical Biology* 48(9): 1025-1030. DOI: <https://doi.org/10.3109/13880200903453131>
- Budel, J. M., Raman, V., Monteiro, L. M., Almeida, V. P., Bobek, V. B., Heiden, G., Takeda, I. J. M. y Khan, I. A. (2018). Foliar anatomy and microscopy of six Brazilian species of *Baccharis* (Asteraceae). *Microscopy Research and Technique* 1-11.
- Cabrera, A. L. (ed.) (1963). Compuestas. En Flora de la provincia de Buenos Aires. *INTA Colección Científica del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria* 4(6): 443.
- Cantero, J. J., Núñez, C. O., Bernardello, G. L. M., Amuchástegui, A., Mulko, J., Brandolín, P., Palchetti, M. V., Iparraguirre, J., Virginil, N. y Ariza Espinar, L. (2019). *Las plantas de importancia económica en Argentina*. 1ra. ed., Río Cuarto, Argentina, UniRío editora. Repositorio Institucional CONICET Digital ri.conicet.gov.ar. URL: <http://www.unirioeditora.com.ar/producto/las-plantas-importancia-economica-argen>
- Carbone, A. V., Hernández, F. E., Fernández, M. P., Martínez Alonso, S. M. y Arambarri, A. M. (2021). Morpho-anatomical features of the leaves and stems of *Baccharis notoserigila* (Asteraceae) and their relationship with the environment and chemical control. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 56(4): 423-444. DOI: <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v56.n4.33519>
- Cosa, M. T., Dottori N., Stiefkens, L., Hadid, M., Matesevach, M., Delbón, N., Wiemer, P., Machado, S., Cabrera, V., Costa, C., Pérez, A. y Trenchi, A. (2014). *Aplicaciones de técnicas de histología vegetal a la resolución de diversos problemas*. Laboratorio de Morfología Vegetal, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. <https://revistas.unc.edu.ar>
- D'Ambrogio de Argüeso, A. (1986). *Manual de técnicas en histología vegetal*. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires. <http://www.cnba.uba.ar/Libros/ABU00001278>
- Dizeo de Strittmatter, C. (1973). Nueva técnica de diafanización. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 15(1): 126-129. <https://botanicaargentina.org.ar>
- Gallo, G. G. (1979). *Plantas tóxicas para el ganado en el cono sur de América*. Ed. Universitaria de Buenos Aires. <https://books.google.com>
- Gastaldi, B., Assef, Y., van Baren, C., Di Leo Lira, P., Retta, D., Bandoni, A. L. y González, S. B. (2016). Actividad antioxidante en infusiones, tinturas y aceites esenciales de especies nativas de la Patagonia Argentina. *Revista Cubana de Plantas medicinales* 21(1): 51-62. <http://scielo.sld.cu>
- Gil, S. P., Seisdodos, L., Reyna, M. E. y Cerana, M. M. (2012). Epidermis foliar de tres especies de Asteráceas nativas de Argentina con potencial ornamental. *International Journal of Experimental Botany, HYTON* 81: 205-210. <https://www.revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar>
- González, S. B., Gastaldi, B., Assef, Y., Pereyra, L., van Baren, C., Di Leo Lira, P., Retta, D. y Bandoni, A. L. (2013). Composición química y actividad antioxidante del aceite esencial de *Solidago chilensis* Meyen, especie medicinal de la Patagonia Argentina. *Dominguezia* 29(S): 66. <http://www.dominguezia.org>
- Gurr, E. (1971). *Synthetic dyes in biology, medicine and chemistry*. London, UK: Academic Press. <http://>

stainsfile.info/StainFile/jindex.html

- Lersten, N. R. y Curtis, J. D. (1989). Foliar oil reservoir anatomy and distribution in *Solidago canadensis* (Asteraceae, tribe Astereae). *Nordic Journal of Botany* 9(3): 281-287. <https://www.jstor.org>
- Marín-Loaiza, J. C. y Céspedes, C. L. (2007). Compuestos volátiles de plantas, origen, emisión, efectos, análisis y aplicaciones al agro. *Revista Fitotecnica Mexicana*. 30(4): 327-351. ISSN 0187-7380. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61030401>
- Marzocca, A., Mársico, O. J. y Del Puerto, O. (1986). *Manual de malezas*. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires. <http://meran.fcv.unlp.edu.ar>
- Metcalfe, C. R., Chalk, L. (1950). *Anatomy of the Dicotyledons*. Clarendon Press, Oxford. <https://onlinelibrary.wiley.co>
- Molares, S., González, S. B., Ladio, A., Castro, M. A. (2009). Etnobotánica, anatomía y caracterización físico-química del aceite esencial de *Baccharis obovata* Hook. et Arn. (Asteraceae: Astereae). *Acta Botanica Brasilica* 23(2): 578-589. DOI: 10.1590/S0102-33062009000200030
- Ornellas, T., Heiden, G., Nunes de Luna, B., Franca Barros, C. (2019). Comparative leaf anatomy of *Baccharis* (Asteraceae) from high altitude grassland in Brazil: taxonomic and ecological implications. *Botany* 97: 615-626. NRC Research Press. <https://dx.doi.org/10.1139/cjb-2019-0035>
- Ragonese, A. M. (1988). Canales secretores en los órganos vegetativos de *Eupatorium inulaefolium* H.B.K. (Compositae). *Acta Farmacéutica Bonaerense* 7(3): 161-168. <http://latamjpharm.org/>
- Ramayya, N. (1962). Studies on the trichomes of some Compositae. I. General structure. *Bulletin of the Botanical Survey of India* 4: 177-188. Urn:lsid:ipni.org:publications:3690-2
- Ripodas, J. I., Garita, S., Bernardo, V., Ruscitti, M., Arango, M. C., Hernández, M. P. (2018). Efecto de la aplicación *in vitro* de aceites esenciales sobre *Nacobbus aberrans* y *Paecilomyces lilacinus*. VI Jornadas nacionales de plantas aromáticas nativas y sus aceites esenciales. II Jornadas nacionales de plantas medicinales nativas. *Dominguezia* 34(S): 112-113. <http://www.dominguezia.org>
- World Health Organization (WHO). 1998. *Quality control methods for medicinal plant materials*. Geneva, WHO Library. scholar.google.com.ar/
- Zampini, I. C., Cudmani, N. y Isla, M. I. (2007). Actividad antimicrobiana de plantas medicinales argentinas sobre bacterias antibiótico-resistentes. *Acta bioquímica clínica latinoamericana* 41(3): 385-393. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53541313>
- Zarlavsky, G. E. (2014). *Histología vegetal: Técnicas simples y complejas*. Sociedad Argentina de Botánica, Buenos Aires, Argentina. <https://botanicaargentina.org.ar>
- Zuloaga, F. O., Belgrano, M. J. y Zanotti, C. A. (2019). Actualización del Catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur. *Darwiniana*, nueva serie 7(2): 208-278. DOI: 10.14522/darwiniana.2019.72.861

EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE ORQUÍDEAS SEGÚN EL TIEMPO DE INMERSIÓN EN HIPOCLORITO DE SODIO

Evaluation of orchid seed germination according to the time of immersion in sodium hypochlorite.

Evelyn Duarte¹

evelyn.duarte@fcf.unam.edu.ar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3331-4447>

Leonardo Da Vega²

leo_davega97@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8670-5017>

Marcela Lorena Ortiz³

ortizlorena684@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2508-4867>

Aldana Samudio⁴

aldysamudio@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8022-4618>

Guillermo Küppers⁵

guillermokuppers@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0865-3818>

Pág. 24 - 34

RECIBIDO

[14/01/2022]

ACEPTADO

[12/03/2022]

PUBLICADO

[30/04/2022]



RESUMEN

Diversos factores influyen sobre la germinación in vitro de las semillas de orquídeas, y el tiempo de exposición de las semillas al hipoclorito de sodio es uno de ellos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la germinación in vitro de *Brasiliorchis chrysantha*, *Cattleya Cernua* y *Miltonia flavesceus* a los 40, 80 y 120 días después del cultivo, empleando una desinfección con etanol al 70 % por un minuto y una dosis de 0.2 % de NaClO durante 5 y 10 minutos. Se cosecharon cápsulas maduras previas a la dehiscencia de las especies antes mencionadas, se procedieron a la apertura y se extrajeron una

Palabras clave

Orchideaceae, desinfección, especies nativas, protocormos blancos, Cultivo in vitro

¹Ingeniera Forestal y Doctora en Recursos Naturales. Jefa de Trabajos Prácticos de la cátedra de Biología Vegetal I, II y Fisiología Vegetal. Profesora adjunto de la cátedra de Diversidad Vegetal.

²Estudiante del Profesorado en Ciencias Biológicas.

³Estudiante del Profesorado en Ciencias Biológicas.

⁴Estudiante del Profesorado en Ciencias Biológicas.

⁵Jefe de Trabajos Prácticos de la cátedra Dendrología.

muestra de semillas de 0.0050 g que fueron colocadas en sobres de papel filtro, para la desinfección en cámara de flujo laminar y posterior cultivo en cajas de Petri en un medio Murashinge y Skoog a la mitad de su concentración. Para determinar el porcentaje de germinación se tomaron microfotografías con una lupa Motic DM 39C. El mejor porcentaje de germinación fue cuando se desinfecto durante 5 minutos y la mayor mortalidad de semillas a los 10 minutos en todas las especies. *B. chrysantha* y *C. Cernua* fueron las más susceptibles a tiempo de exposición al NaClO y *M. flavescens* la más resistente.

ABSTRACT

Several factors influence in vitro germination of orchid seeds, and the time of exposure of seeds to sodium hypochlorite is one of them. The objective of this work was to evaluate the in vitro germination of *Brasiliorchis chrysantha*, *Cattleya Cernua* and *Miltonia flavescens* at 40, 80 and 120 days after culture, using disinfection with 70 % ethanol for one minute and a dose of 0.2 % NaClO for 5 and 10 minutes. Mature capsules were harvested prior to dehiscence of the aforementioned species, opened and a seed sample of 0.0050 g was extracted and placed in filter paper envelopes for disinfection in a laminar flow chamber and subsequent culture in Petri dishes in Murashinge and Skoog medium at half their concentration. To determine the germination percentage, microphotographs were taken with a Motic DM 39C loupe. The best germination percentage was when disinfected for 5 minutes and the highest seed mortality at 10 minutes in all species. *B. chrysantha* and *C. Cernua* were the most susceptible to NaClO exposure time and *M. flavescens* the most resistant.

Keywords

Orchideaceae, disinfection, native species, white protocorms, in vitro culture

INTRODUCCIÓN

En la República Argentina existen reconocidas unas 280 especies de la familia Orchidaceae, y en la provincia de Misiones el número es de 151 (Johnson, 2001; Freuler, 2008; Zanotti *et al.*, 2020). Las orquídeas son vegetales de alto un valor comercial, principalmente como ornamental, pero padecen grandes amenazas y riesgos de extinción debido a la vulnerabilidad, inestabilidad y uso abusivo del recurso, además de sufrir la pérdida de hábitat, contaminación y el efecto del cambio climático, que la arrastran a un futuro incierto por disminución de las poblaciones silvestres (Barman y Devadas, 2013; Capdevila-Argüelles *et al.*, 2013; Cox Tamay 2013; Fay 2016).

Basado en el estado actual de conservación de muchas especies, surge la necesidad de generar metodologías de conservación para las especies de esta familia, no solo por su valor económico, sino también por las funciones ecológicas que poseen, ya que son grandes bioindicadores del impacto antrópico sobre la biodiversidad de ecosistemas forestales (Krömer *et al.*, 2014).

Si bien una de las estrategias de conservación de plantas más apropiadas es la *in situ*, la conservación *ex situ* puede resultar una alternativa interesante como complemento de la primera o en casos en que no sea factible la conservación en el sitio de origen (Ortega-Larrocea *et al.*, 2009), en este sentido la propagación *in vitro* puede constituir una herramienta efectiva, porque permite la germinación de las semillas de orquídeas en peligro de extinción en ausencia de hongos micorrizicos (Ruiz *et al.*, 2008).

Para comercializar especies de orquídeas silvestres es necesario establecer protocolos de propagación masiva *in vitro* en laboratorios, ya que, si se logra un mayor uso y aceptación de las

orquídeas obtenidas por metodologías sustentables, podría mitigarse la presión sobre las poblaciones silvestres de las orquídeas nativas (Tejeda-Sartorius *et al.*, 2017). A su vez la germinación *in vitro*, es una metodología interesante, porque a partir de estas plantas se pueden realizar una gran variedad de estudios en condiciones asépticas, como así también se pueden generar sistemas de propagación asexual que pueden utilizarse para generar bancos de germoplasmas *in vitro* (Ortega-Larrocea *et al.*, 2009).

Pero la germinación *in vitro* de orquídeas requiere de métodos de desinfección de semillas, que permitan obtener cultivos libres de contaminación. Sin embargo, con el pequeño tamaño que poseen resulta difícil su manipulación por lo que se suelen utilizar sobres de papel o jeringas, pero también se debe tener en cuenta la dosis y el tiempo de exposición de las semillas al hipoclorito de sodio, porque se pueden producir altos porcentajes de mortalidad de estas (Dalzotto y Lallana, 2013; Santos-Pérez *et al.*, 2019).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la capacidad germinativa *in vitro* de semillas de *Brasiliorchis chrysantha*, *Cattleya Cernua* y *Miltonia. Flavescens* desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio al 0.2 % durante 5 y 10 minutos después de 40, 80 y 120 días de cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se emplearon plantas adultas en edad reproductiva de *Brasiliorchis chrysantha* (Barb. Rodr.) R.B. Singer, S. Koehler & Carnevali., *Cattleya Cernua* (Lindl.) C. Berg. y *Miltonia flavescens* Lindl. mantenidas en invernáculo y bajo riego por aspersión una vez al día. Durante la época de floración se procedieron a fecundar 4 flores por planta y los frutos obtenidos se cosecharon entre los 2 y 4 meses después de la fecundación pero previo a la dehiscencia.

Desinfección y cultivo *in vitro* de semillas

Una muestra de 0.0050 g de semillas de varios frutos de *B. chrysantha*, *C. Cernua* y *M. flavescens* se colocaron en sobres de papel filtro y se desinfectaron con etanol al 70% por un minuto, posteriormente con hipoclorito de sodio (NaClO) al 0.2% con 2 gotas de Tween 20 por 5 y 10 minutos y fueron enjuagadas 5 veces con agua destilada estéril para eliminar el desinfectante. Inmediatamente después de la desinfección, las semillas se cultivaron en cajas de Petri con 15 mL del medio basal Murashige y Skoog (1962) reducidas en un 50% en su concentración original, adicionado con sacarosa 20 g.L⁻¹, carbón activado 2.0 g.L⁻¹ y el gelificante agar 6.0 g.L⁻¹. El pH del medio de cultivo fue regulado a 5.8 con soluciones de KOH o HCl antes de la adición del agar y el carbón activado. Las cajas de Petri con las semillas se mantuvieron durante 120 días en una cámara climatizada con un fotoperiodo de 16 horas luz (116 µmol.m⁻².s⁻¹, PAR) y 8 de oscuridad con una temperatura 27±2 °C.

Obtención de datos

Durante el ensayo se tomaron micro-fotografías con una lupa Motic DM 39C del cultivo a los 40 y 80 días para analizar la germinación de las semillas provenientes de los distintos tratamientos de exposición de éstas al NaClO. Para el conteo de las semillas germinadas se consideró a la etapa fenológica, en la que se forma una estructura de color verde conocida como protocormo (Aguilar-Morales *et al.*, 2016).

En cada microfotografía se contabilizaron la cantidad de protocormos verdes y la totalidad de las semillas presentes en la fotografía. Los datos obtenidos de las microfotografías se utilizaron para el cálculo del porcentaje de germinación, empleando la fórmula:

$$PG (\%) = (SG/TS) * 100 (1)$$

Donde SG es el total de protocormos verdes y TS es el total de semillas cultivadas.
El porcentaje de semillas muertas, con la fórmula:

$$SM (\%) = (PB/TS) * 100 (2)$$

Donde PB es el total de protocormos blancos.

El incremento de la germinación entre los 40 y 80 días de cultivo, cuando se desinfectó durante 5 y 10 minutos, con las fórmulas:

$$IG (\%) = PG_{80} - PG_{40} (3)$$

Donde PG80 es el porcentaje de germinación a los 80 días y PG40 porcentaje de germinación a los 40 días.

El incremento de mortalidad (IM) de semillas entre 5 y 10 minutos de desinfección a los 40 y 80 días, con la fórmula:

$$IM (\%) = SM_{10} - SM_5 (4)$$

Donde SM₁₀ es cantidad de protocormos blancos cuando el tiempo de desinfección con NaClO fue de 10 minutos y SM5 cuando el tiempo de exposición fue de 5 minutos.

Diseño y análisis estadístico

El diseño estadístico que se empleó fue el completamente aleatorizado con distribución factorial de 3 (especies) por 2 (tiempos de exposición en hipoclorito de cloro) por 2 (días después del cultivo), para lo cual se utilizaron 3 cajas de Petri por cada tratamiento (Tabla 1). Para la cuantificación de la capacidad germinativa se utilizó una muestra de 5 microfotografías por tratamiento, que fueron seleccionadas al azar después de ser tomadas sobre cada una de las cajas de Petri. Los datos de las variables fueron analizados con el test de normalidad Shapiro-Wilk modificado y de homocedasticidad por medio de la prueba de Levene, a continuación, se realizó un análisis de variancia (ANDEVA) y las medias se compararon con el test de Duncan a un nivel de confianza de 0.05 empleando el software INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2020).

Tabla 1. Distribución de los tratamientos de acuerdo con la combinación de los factores a evaluar.

Especie	Tiempo de exposición	Días de cultivo	Tratamiento
<i>Brasiliorchis chrysantha</i>	5 minutos	40	1
<i>Brasiliorchis chrysantha</i>	5 minutos	80	2
<i>Brasiliorchis chrysantha</i>	10 minutos	40	3
<i>Brasiliorchis chrysantha</i>	10 minutos	80	4
<i>Cattleya Cernua</i>	5 minutos	40	5
<i>Cattleya Cernua</i>	5 minutos	80	6
<i>Cattleya Cernua</i>	10 minutos	40	7
<i>Cattleya Cernua</i>	10 minutos	80	8
<i>Miltonia flavescens</i>	5 minutos	40	9
<i>Miltonia flavescens</i>	5 minutos	80	10
<i>Miltonia flavescens</i>	10 minutos	40	11
<i>Miltonia flavescens</i>	10 minutos	80	12

Fuente: Elaboración propia

DESARROLLO

La germinación *in vitro* de semillas de orquídeas se ve afectada por las condiciones de cultivo, la maduración de las semillas y la desinfección empleada (Rodríguez et al., 2003; Salazar-Mercado et al., 2013). La concentración y tiempo de exposición del NaClO durante la desinfección son factores que influyen notablemente en la viabilidad y consecuentemente en el porcentaje de germinación (Salazar-Mercado et al., 2013). En este estudio el análisis estadístico manifestó diferencias estadísticas de las variables entre los tratamientos analizados, observándose los mayores PG, cuando la exposición fue de 5 minutos y el mayor SM a los 10 minutos en todas especies, pero no se observaron diferencias estadísticas entre los 40 y 80 días de cultivo. Por otro lado *B. chrysantha* presentó el mejor PG superando el 60% cuando la desinfección con NaClO fue durante 5 minutos, *C. cernua* en cambio presentó el menor PG con valores inferiores al 40% y una proporción de semillas muertas (SM) de más del 60 % (Tabla 2), siendo la especie más afectada por el proceso de desinfección. El efecto negativo del NaClO sobre la germinación de semillas de orquídeas fue demostrado también en *Isochilus linnearis* y *Oeceolades maculata*, donde las semillas presentaron una notable disminución en el PG y vigor a medida que transcurrió el tiempo (Dalzotto y Lallana, 2013).

M. Flavescens en cambio no manifestó diferencias significativas entre los tiempos de exposición y diferentes periodos de evaluación, manifestando un PG y un SM de aproximadamente del 50 % (Tabla 2), observándose como la especie que tiene semillas de mayor resistencia a la exposición del NaClO, al

igual que *Oncidium viperinum* (Dalzoto y Lallana, 2013).

En otras especies como *Prosthechea vespa* Vell. y *Sobralia klotzscheana* Rchb. f. el uso de NaClO al 0.39 % durante 5 minutos en semillas de cápsulas maduras, alcanzaron porcentajes de germinación del 84.4 y 80.1% respectivamente (Salazar-Mercado y Cancino, 2012), contrario a lo obtenido en este estudio. Por otro lado, cuando las semillas *Phragmipedium kovachii* fueron desinfectadas empleando una dosis de 0.5 % durante 15 minutos la germinación fue del 50 % (Ruíz-Sánchez, 2021), asemejándose a los resultados obtenidos en *B. chrisantha* y *M. Flavescens*.

Tabla 2. Efectos de los tratamientos sobre la capacidad germinativa (PG %) y proporción de semillas muertas (SM %).

Tratamiento	n	PG (%)	SM (%)
1	243	61.17 ± 6.07 ab	38.83 ± 6.07 fg
2	170	67.99 ± 11.98 a	32.00 ± 11.98 g
3	200	52.43 ± 4.97 bcd	47.57 ± 4.97 def
4	172	54.03 ± 7.75 bc	45.96 ± 7.75 ef
5	161	31.55 ± 10.52 fg	68.44 ± 10.52 ab
6	117	36.64 ± 12.88 ef	63.36 ± 12.88 bc
7	191	22.87 ± 4.15 g	77.13 ± 4.15 a
8	122	23.17 ± 10.14g	76.82 ± 10.14 a
9	168	49.23 ± 8.72 bcde	50.76 ± 8.72 cdef
10	125	52.77 ± 15.19 bcd	47.23 ± 15.19 def
11	200	39.65 ± 8.59 def	60.34 ± 8.59 bcd
12	139	43.00 ± 9.29 cdef	56.99 ± 9.29 bcde

Fuente: Elaboración propia

* Letras distintas indican diferencias significativas a un nivel de 0.05 al Test de Duncan.

Cuando las semillas fueron desinfectadas durante 5 minutos, después de 40 días de cultivo se observan protocormos verdes con rizoides en todas las especies, pero todavía se encuentra una alta cantidad de protocormos dentro del tegumento y empiezan a aparecer protocormos blancos (Figura 1A-C), que son originados por la utilización del NaClO y pueden incrementarse a medida que aumenta la dosis y el tiempo en que se exponen las semillas al producto desinfectante (Dalzotto y Lallana, 2013).

Si bien la germinación se inició a los 9, 12 y 14 días para *C. cernua*, *B. chrisantha* y *M. Flavescens* respectivamente, transcurrido 80 días de cultivo las hojas comienzan a visualizarse en los protocormos de *B. chrisantha* (Figura 1D) y de *C. cernua* (Figura 1E), en tanto que en *M. Flavescens*, en este periodo recién comienzan a visualizarles escasamente el desarrollo de los primordios foliares (Figura 1F). Al cabo de 120 días el grado de desarrollo de los protocormos es tal que no se puede continuar observando

la germinación de las semillas en ninguna de las especies y tiempos de desinfección. En *B. chrysantha* puede visualizarse hasta 3 hojas por protocormo, pero aun presentan rizoides (Figura 1G), en *C. cernua* a 120 días ya se observan plantas completamente formadas con hojas y una raíz bien desarrollada (Figura 1H), en tanto que en *M. Flavescens* las hojas recién comienzan a visualizarse (Figura 1I).

La germinación de las semillas de orquídeas puede iniciarse desde los 5 días hasta 3 o 4 meses después del cultivo, porque este proceso morfogénico es altamente influenciado por el grado de maduración de las cápsulas y si se cosechan extremadamente verdes, las semillas podrían no germinar (Rodríguez, 2003; Andrade-Rodríguez, 2015; del Cristo-Banda-Sánchez *et al.*, 2017). En las orquídeas, la germinación es considerada cuando el embrión forma una pequeña estructura llamada protocormo que cambia a una coloración verde, sobre el cual a medida que transcurren los días del cultivo se desarrollan los primordios foliares, rizoides y por último la raíz (Andrade-Rodríguez, 2015).

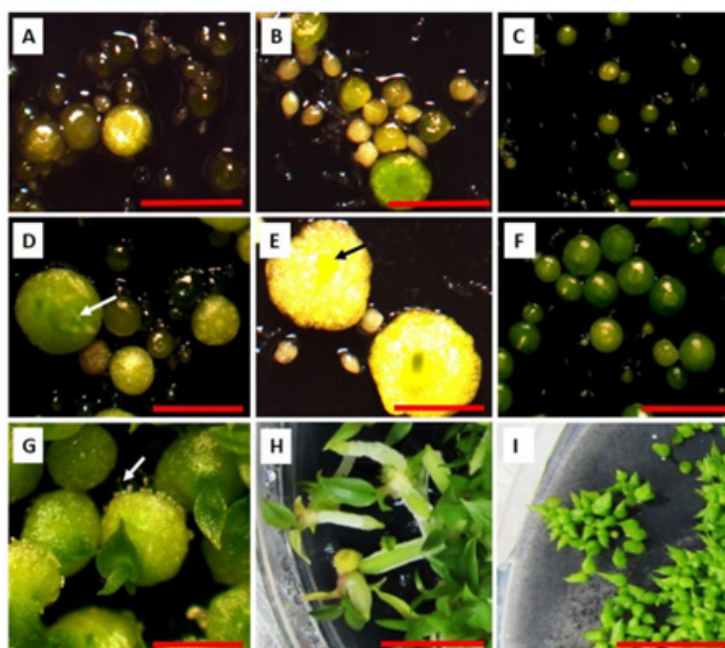


Figura 1. Germinación de semillas desinfectadas durante 5 minutos con NaClO al 0,2 %. Protocormos desarrollados *B. chrysantha* (A, D y G), *C. cernua* (B, E y H); *M. flavescens* (C, F e I), observación a los 40 días (A – C), 80 días (D – F) y 120 días (G – I). Las flechas indican primordios foliares en D y E, rizoides en G. Escala: A-C 1000 μ m; D-G 2000 μ m; H-I 1 cm

Al desinfectarse durante 10 minutos, a los 40 días ya se observan gran cantidad de protocormos blancos y semillas con embriones muertos (Figura 2 A-C) y a los 80 días la cantidad de protocormos verdes con posibilidad de formar una planta es inferior a las semillas que fueron desinfectadas durante 5 minutos (Figura 2 D-F), hecho que puede observarse a simple vista a los 120 días (Figura 2 G-I). El efecto tóxico del tiempo de exposición del NaClO sobre las semillas, se observa claramente sobre la morfofisiología de éstas (Salazar-Marcado *et al.*, 2013), generando protocormos muertos de color blanco (Billard *et al.*, 2013). A su vez a medida que transcurren los días de cultivo se pueden incrementar estos, ya que los protocormos que inicialmente se manifestaban de color verde pueden verse afectados por el NaClO y pueden convertirse en blancos (Dalzotto y Lallana, 2013).

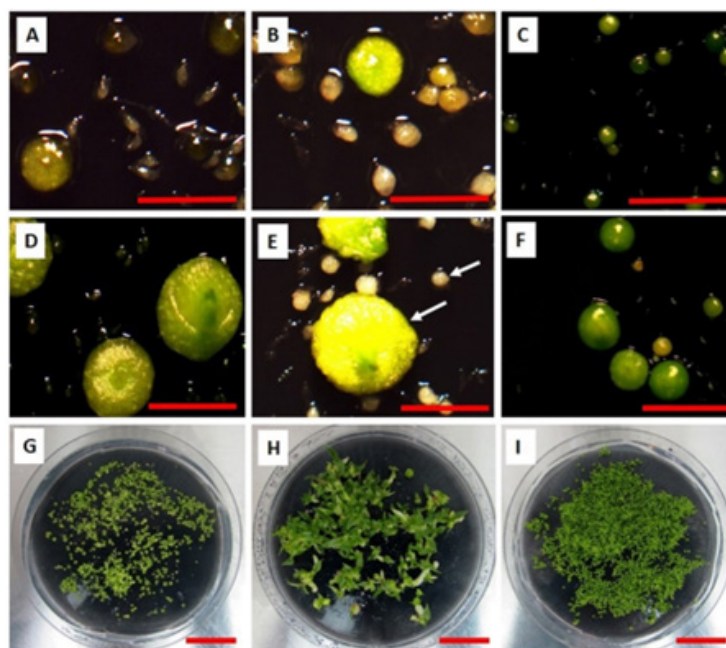


Figura 2. Germinación de semillas desinfectadas durante 10 minutos con NaClO al 0,2 %. Protocormos desarrollados *B. chrysantha* (A, D y G), *C. cernua* (B, E y H); *M. flavescens* (C, F e I), observación a los 40 días (A – C), 80 días (D – F) y 120 días (G – I). Las flechas indican protocormos vivos (verde) y muerto (blanco). Escala A-C 1000 μ m; D-F 2000 μ m; G-I 2 cm

Al analizar los incrementos de germinación entre los 40 y 80 días de cultivo no se observaron diferencias significativas entre las especies, ni en los diferentes tiempos de exposición, sin embargo *C. cernua* fue la especie que presentó menor IG con un tiempo de exposición de 10 minutos (Figura 3A), lo cual conlleva a un bajo PG y *B. chrysantha* la que manifestó el mayor IG, ocasionando un elevado PG (tabla 2). Empleando una dosis de 0.5 % de NaClO las semillas de *Oncidium bifolium* tampoco manifestaron diferencias significativas en los porcentajes de germinación entre los 24 y 67 días después del cultivo y los protocormos muertos solo aparecieron en los tratamientos que no tuvieron un enjuague (Billard *et al.*, 2013), en este trabajo en cambio se observaron protocormos muertos a pesar de tener cinco enjuagues, por lo que las especies aquí estudiadas pueden ser relativamente susceptibles a la toxicidad del NaClO.

Considerando los protocormos blancos (muertos), en la evaluación del incremento de estos, no se observaron diferencias significativas entre las especies ni los diferentes tiempos de exposición, pero los mayores IM se observaron en *B. chrysantha* y *C. cernua* (Figura 3B).

El NaClO es un agente desinfectante efectivo en el establecimiento *in vitro* de semillas de orquídeas, pero se debe ser cauto con las dosis y tiempos de inmersión, porque puede ocasionar elevada mortalidad de semillas incluso varios días después del cultivo (de Feria *et al.*, 2007; Dalzotto y Lallana, 2013; Salazar-Mercado *et al.*, 2013), tal como se observó en *Isochilus linnearis* y *Oeceolades maculata* que tuvieron una incremento de protocormos blancos del 25 y 52,3% respectivamente a los 77 días de cultivo por efecto del NaClO (Dalzotto y Lallana, 2013).

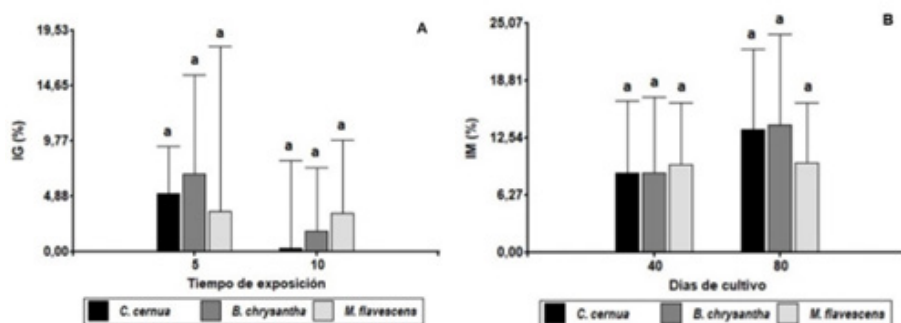


Figura 3. Incremento de germinación entre los 40 y 80 días después del cultivo cuando el tiempo de exposición en hipoclorito de sodio fue de 5 y 10 minutos (A). Incremento de mortalidad de las semillas 40 y 80 días después del cultivo de las semillas desinfectadas por 5 y 10 minutos en hipoclorito de sodio (B).

El cultivo *in vitro* es una herramienta indispensable para mejorar la capacidad germinativa y desarrollo de las especies de orquídeas con el objetivo de comercializar o realizar futuros estudios (Salazar-Mercado *et al.*, 2013). En este sentido, los resultados de este estudio al igual que otros de la misma índole han demarcado la importancia de contar con protocolos *in vitro* para las orquídeas, sobre todo para aquellas que se encuentren en peligro de extinción (Salazar-Mercado y Gélvez-Manrique, 2015; Pérez-Martínez y Castañeda-Garzón, 2016).

CONCLUSIONES

El incremento del tiempo de exposición de las semillas al NaClO en una dosis de 0,2% provoca una disminución en la germinación en *B. chrysantha* y en *C. cernua*, pero no así en *M. flavescens* porque exponer las semillas de esta especie a 5 o 10 minutos a esa concentración de NaClO, no genera diferencias significativas en la germinación.

El tiempo transcurrido desde la siembra entre los 40 y 80 días no demarca diferencias en la germinación, por lo que a los 40 días prácticamente se logran valores similares a los 80 días, que pueden ser concordantes con los valores finales de germinación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Morales, M. A., Laguna-Cerda, A., Vences-Contreras, C. y Lee-Espinosa, H. E. (2016). Análisis de semillas de *Encyclia adenocaula* (La Llave & Lex.) Schltr (Orchidaceae) para su conservación *ex situ*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(7), 1741-1747. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342016000701741&script=sci_arttext
- Andrade-Rodríguez, M. (2015). Germinación de semillas y crecimiento de plántulas de *Cattleya* (*Brassolaeliocattleya*) *in vitro*. *Interciencia*, 40(8), 549-553. <https://www.proquest.com/openview/2989191ee5712c0f08dea0e63547ad49/1?pq-origsite=gscholar&cbl=27688>
- Barman, D. y Devadas, R. (2013). Climate change on orchid population and conservation strategies: a review. *Journal of Crop and Weed*, 9(2), 1-12. <https://www.cropandweed.com/vol9issue2/pdf2005/1.pdf>
- Billard, C. E., Dalzotto, C. A. y Lallana, V. H. (2014). Desinfección y siembra asimbiótica de semillas de dos especies y una variedad de orquídeas del género *Oncidium*. *Polibotánica*, (38), 145-157. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-27682014000200008&script=sci_abstract&tlng=pt
- Cox, L. (2013). Orquídeas: importancia y uso en México. *Bioagrocencias*, 6(2), 4-7. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33974642/Articulo_1-libre.pdf?1403045854=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DOrquideas_Importancia_y_uso_en_Mexico.pdf&Expires=1659745177&Signature=ZN1XpJcsHrjX-gtLPldcpD2-w1tdB31BJL58SAmXSdn7389pQvyJY3WlvvVy5OOhb4G4GLZqg9FV0I9DmjakFxDQFw7pkwuo-dTA2phdwn2v6yp-7Nv80TCzp0erOEN-CAOUhIH-PazCYdM5rBCSTF~j3Si7pbm85STnVHSZZjEgcoHCdkJ2iMdyAme1Pgch30aZcn~Ds3oR6cYvgffqYIFluPR6uu9usgmrtqxtP7f1qh8ahIPYULAaEFV5LAySu0eKRgp-CkOIBlhQrn0KsQBuvRFb36V-DQRnveqhim7qxxuhY9j5k9IO-9H3lg66120oh24h~eh7n2KLxfO9MQ_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Dalzotto, C. A. y Lallana, V. H. (2013). Viabilidad, germinación asimbiótica y vigor de tres especies de orquídeas nativas. *Revista Científica Agropecuaria*, 17(1-2), 39-49. http://www2.fca.uner.edu.ar/rca/Volumenes%20Anteriores/Vol%20Ante%2017/rca_17_1-2_pdf/RCA_207_OFICIO_Final.pdf
- de Feria, M., Chávez, M. y Quiala, E. (2007). Establecimiento *in vitro* de *Phalaenopsis*. *Biotechnología Vegetal*, 7(1). <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/353>
- del Cristo-Banda-Sánchez, L., Pinzón-Ariza, Y. H. y Vanegas-Martínez, L. E. (2017). Características físicas y germinativas de semillas de la orquídea *Prosthechea* sp. de la zona andina, Fusagasugá, Colombia. *Biota Colombiana*, 18(1), 80-87. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.21068/c2017.v18n01a5>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. (2020) InfoStat, versión 2020, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <https://www.infostat.com.ar/>
- Freuler, M. J. (2008). 100 Orquídeas Argentinas, 1ª Ed. Editorial Albatros. Buenos Aires, Argentina.
- Johnson, A. E. (2001). Las Orquídeas del Parque Nacional Iguazú. Buenos Aires: LOLA.
- Krömer, T., García-Franco, J. G. y Toledo-Aceves, T. (2014). Epífitas vasculares como bioindicadores de la calidad forestal: impacto antrópico sobre su diversidad y composición. In: González-Zuarth, C. A., Vallarino, A., Pérez-Jimenez, J. C., Low-Pfeng, A. M. (eds) Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental, Mexico City, Mexico: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), pp. 606-623. <https://www.uv.mx/personal/>

tkromer/files/2020/04/Kr%C3%B6mer-et-al.-2014_Bioindicadores-Cap-29.pdf

- Murashige, T. y Skoog, F. 1962 A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Copenhagen. *Physiologia Plantarum*, 15, 473-497.
- Ortega-Larrocea, M. P., Martínez, A. y Chávez, V. M. (2009). Conservación y propagación de orquídeas. Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal. México, Coordinación de la Investigación Científica/ Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel-Universidad Nacional Autónoma de México, 483-495. http://www.repsa.unam.mx/documentos/Ortega-Larrocea_et_al_2009_conservacion_y_propagacion.pdf
- Rodríguez, L., González, R., Díaz, A., Fajardo, E., Sánchez, E., Hernández, J., Castañeira, M., de la Cruz, G. y González, J. (2003). Influencia de diferentes factores en la germinación asimbiótica *in vitro* de semillas de *Cattleya labiata*. *Bioteología Vegetal*, 3(2), 119-121. <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/236>
- Ruiz Sánchez, M. E. (2021). Micropropagación de *Phragmipedium kovachii*, con fines de conservación genética. *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 1(1), 45-61. <https://doi.org/10.51252/raa.v1i1.99>
- Ruiz, B. C., Laguna, C. A., Iglesias, A. L. G., Damon, A., Marín, H. T. N. J., Azpíroz, R. H. S. y Moreno, M. J. L. (2008). Germinación *in vitro* de semillas de *Encyclia adenocaula* (La Llave & Lex.) Schltr (Orchidaceae). *Phyton (Buenos Aires)*, 77, 203-215. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-56572008000100017&script=sci_abstract&tlng=es
- Salazar-Mercado, S. A. y Cancino, G. O. (2012). Evaluación del efecto de dos suplementos orgánicos en la germinación *in vitro* de orquídeas nativas de la provincia de Pamplona, Colombia. *Revista Colombiana de Bioteología*, 14(1), 53-59. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-34752012000100006
- Salazar-Mercado, S. A. y Gélvez Manrique, J. D. (2015). Determinación de la viabilidad de semillas de orquídeas utilizando la prueba de Tetrazolio e Índigo Carmín. *Revista de Ciencias*, 19(2), 59-69. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-19352015000200004
- Salazar-Mercado, S. A., Amaya-Nieto, A. Z. y Barrientos-Rey, F. (2013). Evaluación de diferentes medios de cultivo *in vitro* en el desarrollo de híbridos de *Phalaenopsis* (Orchidaceae). *Revista Colombiana de Bioteología*, 15(2), 97-105. <http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v15n2.41268>
- Santos-Pérez, U. I., Pedraza-Santos, M. E., Salgado-Garciglia, R., Martínez-Palacios, A., Chávez-Bárcenas, A. T. y González-Arno, M. T. (2019). Efectividad de métodos para desinfestar semillas de *Laelia autumnalis* para la conservación en nitrógeno líquido. *Nova scientia*, 11(23). <https://doi.org/10.21640/ns.v11i23.1855>
- Tejeda-Sartorius, O., Téllez-Velasco, M. A. A. y Trejo-Téllez, L. I. (2017). Características ornamentales de orquídeas silvestres y su propagación con fines comerciales. Alternativa de aprovechamiento sustentable *ex situ*. *Agro Productividad*, 10(6), 37-45. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1037>

PRODUCTIVIDAD EN ALFALFA Y SORGO: ¿DISTINTOS INÓCULOS DE HONGOS MICORRÍDICOS ARBUSCULARES (HMA) TIENEN EFECTO SOBRE SU PRODUCTIVIDAD PRIMARIA?

Alfalfa and sorghum productivity: ¿Do different arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculum affect their primary productivity?

Roberto Emanuel Ontivero^{1,2}

ema.onti@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0094-1460>

Lucía Risio Allione^{1,3}

luciarisio@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4742>

Mónica A. Lugo^{1,2}

monicalugo63@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7592-0528>

Pág. 35 - 48

RECIBIDO

[28/04/2022]

ACEPTADO

[17/07/2022]

PUBLICADO

[31/08/2022]



RESUMEN

La productividad primaria (PP) es una tasa que mide un proceso ecosistémico importante y que determina el rendimiento de los cultivos agrícolas. Los manejos agronómicos de alta intensidad han contribuido notablemente al deterioro de los recursos naturales, por lo que la producción agrícola sustentable es un gran desafío para la agricultura moderna. Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) forman una asociación simbiótica (micorrizas arbusculares, MA) con las raíces de las plantas que contribuye con su crecimiento mediante el aumento de la absorción de nutrientes minerales. Estos hongos pueden influir notablemente en la productividad y en el rendimiento de las cosechas, por lo tanto se los puede usar como promotores naturales de la PP sin impacto negativo sobre el

Palabras clave

producción primaria aérea, producción agrícola, lomeromycota, Sorghum bicolor, Medicago sativa

¹Micología, Diversidad e Interacciones Fúngicas (MICODIF), Área Ecología, FQByF, Universidad Nacional de San Luis (UNSL).

²Instituto Multidisciplinario de Investigaciones Biológicas (IMIBIO). Consejo Nacional de investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Universidad Nacional de San Luis.

³Laboratorio de Dasonomía, FICA, UNSL.

medio ambiente. Así, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de diferentes usos del suelo utilizados como inóculos de HMA sobre la PP en bioensayos de plantas trampa con alfalfa y sorgo, dos cultivos predominantes en la región. Los resultados indicaron que la mayor PP estuvo asociada a las plantas inoculadas con suelos provenientes de los usos con escasa actividad agrícola. La mayor perturbación agrícola influye negativamente en la diversidad y desarrollo de los HMA y por ende, los agroecosistemas menos perturbados presentan una mayor diversidad de HMA que favorecen la PP del cultivo. Las plantas que crecieron en contacto con mayor diversidad de HMA podrían establecer MA con diferentes especies fúngicas que podrían contribuir de modo complementario a su beneficio y crecimiento.

ABSTRACT

Primary productivity (PP) is a rate that measures an important ecosystem process and determines the yield of agricultural crops. High-intensity agronomic management has notably contributed to the deterioration of natural resources, which is why sustainable agricultural production is a great challenge for modern agriculture. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) form a symbiotic association (arbuscular mycorrhiza, AM) with plant roots that contributes to their growth by increasing the absorption of mineral nutrients. These fungi can significantly influence the productivity and yield of crops; therefore, they can be used as natural promoters of PP without negative impact on the environment. Thus, the objective of this work was to determine the effect of different land uses used as AMF inoculum on PP in trap plant bioassays with alfalfa and sorghum, two predominant crops in the region. The results indicated that the highest PP was associated with plants inoculated with soils from uses with low agricultural activity. The greater agricultural disturbance negatively influences the diversity and development of the AMF and therefore, the less disturbed agroecosystems present a greater diversity of AMF that favor the PP of the crop. The plants that grew in contact with a greater diversity of AMF could establish AM with different glomeralean fungal species that could contribute in a complementary ecosystem function to their benefit and growth.

Keywords

Aerial primary production, agricultural production, Glomeromycota, Sorghum bicolor, Medicago sativa

INTRODUCCIÓN

La alfalfa (*Medicago sativa* L., Fabaceae) es considerada la principal especie forrajera del mundo (Martínez-Rubin de Celis *et al.*, 2011). Esta leguminosa perenne es la más ampliamente utilizada en la alimentación del ganado por su contenido proteico (Martínez-Rubin de Celis *et al.*, 2011). En Argentina, el monocultivo de la alfalfa ha sido tradicionalmente la base de la producción ganadera y, junto con el trigo, uno de los cultivos fundadores de la agricultura nacional (Guiñazú *et al.*, 2010). En la actualidad, constituye uno de los principales recursos forrajeros debido a su enorme adaptación a diferentes climas (Guiñazú *et al.*, 2010), a su longevidad, y al hecho de que puede mejorar el suelo donde se cultiva (Campanelli *et al.*, 2013).

El sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench, Poaceae) es una gramínea de origen tropical. En Argentina se adapta muy bien al clima templado y es ampliamente utilizado para la alimentación ganadera. El excelente potencial que ha demostrado el sorgo en diversas regiones del país y la importancia del cultivo para el desarrollo de un sistema sustentable han incidido notablemente sobre el incremento en la superficie sembrada, así como en las exportaciones de este grano, ubicando al país como

segundo exportador a nivel mundial (Carrasco *et al.*, 2011). El sorgo presenta un sistema radical muy desarrollado y profundo que le permite muy buena exploración del perfil del suelo contribuyendo a mejorar la estructura del mismo, ayudando a mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas (Carrasco *et al.*, 2011).

El cultivo de alfalfa y sorgo en Argentina, al igual que la agricultura de alta intensidad en el resto del mundo se ha centrado principalmente en la productividad. La mecanización, los monocultivos y el mayor uso de insumos sintéticos han degradado la calidad del agua, reducido las tierras cultivables, los recursos forestales y la fertilidad del suelo (Ejersa, 2021 y referencias allí citadas). La agricultura es la interfaz más grande entre los seres humanos y el medio ambiente, por lo que conciliar la producción de cultivos y la integridad ambiental, en otras palabras, la producción sostenible de cultivos, es un gran desafío para la agricultura moderna (Ejersa, 2021 y referencias allí citadas). Esto implica la necesidad de desarrollar estrategias de manejo de cultivos que optimicen la fertilidad del suelo, la diversidad biológica y la solidez de los cultivos mediante la creación de formas de agroecosistemas que respeten los procesos ecológicos naturales y respalden la productividad a largo plazo (Ejersa, 2021).

La productividad es uno de los procesos más importantes de los ecosistemas en general y de los agroecosistemas en particular, en los que se define como “la cantidad de alimento, combustible o fibra para uso humano, que produce un agroecosistema” (Marten, 1988). En cultivos como la alfalfa y el sorgo la fracción vegetal utilizable por el hombre, en general, es la región aérea de la planta, es decir la productividad primaria neta aérea. Esta productividad, en adelante “productividad primaria” (PP), está determinada por la estructura y función de las comunidades de plantas y el acceso a los recursos que sustentan su crecimiento (Connor *et al.*, 2011). En ocasiones, la PP está limitada por la disponibilidad de recursos minerales del suelo (Neri-Luna & Villarreal-Ruiz, 2012). Para poder superar esta limitación, la mayoría de las plantas terrestres forman asociaciones simbióticas con microorganismos edáficos (van der Heijden & Scheublin, 2007).

Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) constituyen un grupo filogenético, el filum Glomeromycota (Schüßler *et al.*, 2001) y funcional clave de la biota del suelo que puede contribuir en gran medida a la productividad de los cultivos y la sostenibilidad de los ecosistemas (Jeffries *et al.*, 2003). Los HMA son capaces de establecer una interacción simbiótica con las raíces del 80 % de las familias de plantas terrestres formando la interacción simbiótica denominada micorriza arbuscular (MA) (Smith & Read, 2008). Esta interacción no solo mejora el crecimiento de las plantas a través de una mayor absorción nutrientes minerales esenciales para el crecimiento de ellas, sino que también tienen otros efectos que no se relacionan directamente sino indirectamente con la nutrición del hospedante como la estabilización de los agregados del suelo, en la prevención de la erosión y en el alivio del estrés en las plantas causado por factores bióticos y abióticos (Smith & Read, 2008). Así, los microorganismos simbióticos como los HMA y su diversidad en el suelo son uno de los principales actores en el mantenimiento del funcionamiento de los ecosistemas, ocupando una importante función en la PP (Wagg *et al.*, 2011) y afectándola directamente.

Los HMA, son un grupo de hongos endofíticos y biótros obligados que establecen relaciones simbióticas con los órganos de absorción (raíces, rizomas, rizoides) y están presentes en la gran mayoría las plantas, incluidas las cultivadas, y de los ecosistemas. En la simbiosis MA ambos integrantes, hongo y planta, se ven beneficiados (Smith & Read, 2008). Así, el hongo contribuye con la planta en el aumento de su capacidad de absorción al explorar mayor volumen de suelo que la raíz sola, desempeñando una función primordial en la obtención de nutrientes, acceso a iones minerales a partir de fuentes inorgánicas y orgánicas de fósforo (P) y nitrógeno (N), que generalmente no están disponibles para las plantas en forma directa (Neri-Luna & Villarreal-Ruiz, 2012 y referencias allí). Por su parte, la planta proporciona al hongo productos carbonados derivados de la fotosíntesis, esenciales para el crecimiento y un nicho ecológico protegido (Jaizme-Vega & Rodríguez-Romero, 2008) para el desarrollo del ciclo vital fúngico. Como resultado de esta relación, los HMA tienen el potencial de afectar en gran medida la productividad de la planta (van der Heijden *et al.*, 1998) en todos los ecosistemas que los albergan. Además, debido a su carácter de biótros obligados los HMA solo pueden crecer en cultivo en presencia

de las raíces de plantas hospedantes cultivadas in vitro o con las plantas hospedantes completas (Smith & Read, 2008). Así, los HMA no pueden cultivarse aisladamente de sus hospedantes, inconveniente que es superado por el empleo de las llamadas “plantas trampa”, que consiste en el cultivo conjunto en maceta de plantas hospedantes con HMA (INVAM, 2022). Este método es uno de los más utilizado en experimentos para determinar la productividad primaria y para la propagación de los HMA.

El efecto negativo de las prácticas agrícolas sobre la diversidad y funcionalidad de los HMA ha sido demostrado en diferentes estudios (Verbruggen *et al.*, 2010). Esta disminución de la diversidad de HMA puede tener efectos negativos sobre la PP de los ecosistemas naturales y de los cultivos (Maherali & Klironomos, 2007; van der Heijden *et al.*, 1998; Wagg *et al.*, 2011). Así, van der Heijden *et al.* (1998) propone que la productividad de los ecosistemas aumentarán con el incremento del número de especies de HMA, debido al efecto beneficioso adicional de cada una de las especies de estos hongos, ya que diferentes especies de hospedantes podrían beneficiarse de diferentes taxones de HMA. Así, la PP puede depender de la diversidad de los hongos simbiotes (van der Heijden *et al.*, 1998). Esta multifuncionalidad de los HMA podría traducirse en mayores beneficios para el hospedante que crece en contacto y asociación con comunidades con mayor diversidad de especies de HMA, ya que teóricamente cada una podría brindar servicios adicionales a las plantas hospedantes que contribuyan a una mayor productividad (Wagg *et al.*, 2011).

Teniendo en cuenta la importancia de la alfalfa y el sorgo en la economía de la región, la influencia de los HMA en la producción primaria, y los efectos de las prácticas agrícolas sobre la comunidad de estos hongos, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del origen del inóculo de HMA sobre la productividad primaria mediante bioensayos de plantas trampa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Bioensayos de cultivos con plantas trampa para determinar la productividad primaria (PP)

Se realizó un bioensayo para determinar la PP, que se cuantificó como, la totalidad de la materia vegetal aérea en peso seco en gramos. Las especies hospedantes de los HMA utilizadas como plantas trampa fueron una Poaceae, *Sorghum bicolor* (L.) Moench (sorgo) y una Fabaceae, *Medicago sativa* L. (alfalfa). Ambas especies frecuentemente cultivadas en la región y reconocidas por ser eficientes hospedantes de los HMA. Los cultivos con plantas trampa (PT) pueden iniciarse a partir de alguna de los diferentes fuentes de propágulos, entre las que se destacan el suelo rizosférico, esporas y fragmentos de raíz (Morton *et al.*, 1996).

Los cultivos de las PT se realizaron en macetas de 20 litros, conteniendo sustrato inerte esterilizado. Este sustrato consistió en una mezcla de suelo estéril proveniente de parcelas frecuentemente cultivadas con alfalfa y sorgo; y de arena estéril (en una proporción 2:1). Las macetas se mantuvieron en un invernadero (Figura 1) con condiciones controladas a 25 °C de temperatura y 50 % de humedad relativa, durante 4 meses en la Estación Experimental Agropecuaria del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Villa Mercedes, provincia de San Luis, República Argentina.

En cada maceta, a 2 cm de profundidad en el sustrato, se colocaron 2 semillas de cada una de las especies vegetales elegidas para el bioensayo; junto a las semillas se colocó el inóculo de HMA (80 gramos de suelo original de cada uso estudiado). Las macetas se regaron periódicamente con agua corriente, a capacidad de campo, cada 2 ó 3 días, dependiendo del requerimiento hídrico de la planta. Al cabo de 4 meses de crecimiento, los vástagos de las PT fueron cosechados y secados a temperatura ambiente para cuantificar la PP de cada uso de suelo.



Figura 1. Bioensayos de plantas trampa en el Invernadero de la Estación Experimental Agropecuaria del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Villa Mercedes, San Luis, Argentina.

Esterilización de semillas, preparación de sustrato y montado de macetas

Las semillas de alfalfa y cariopsis de sorgo al igual que todos los elementos a utilizar durante el trabajo con plantas trampa fueron esterilizadas en superficie con alcohol etílico (96 %) y los elementos inertes además se expusieron a luz UV durante 3 horas previas al inicio del trabajo.

Para la esterilización de las semillas se las sumergió en una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 10 % durante 10 minutos; posteriormente, se retiraron de la solución y se las lavaron con agua estéril durante un minuto. El procedimiento de sumersión y lavado de las semillas se repitió cuatro veces.

El sustrato estéril utilizado como soporte para el crecimiento de los cultivos con las PT estuvo compuesto por una mezcla de suelo estéril de las parcelas permanentes de cultivo y arena fina estéril, en una proporción 2:1. El suelo original de cada una de las parcelas permanentes con distintos usos, se tamizó con una malla de 2 mm para descartar los restos vegetales; el suelo obtenido del tamizado se fraccionó en bolsas resistentes a altas temperatura y se sometió a una sucesión de tratamientos de esterilización con vapor de agua a alta temperatura y presión durante una hora (121 °C; 1,2 atm) en autoclave y enfriamiento posterior por 24 h; este tratamiento se repitió dos veces antes de almacenarse en heladera para su posterior utilización para el armado de las macetas de las PT. La misma secuencia se utilizó para esterilizar la arena fina.

Para el armado de las macetas se siguió un procedimiento descrito por Lugo et al. (2018) y se adicionó una capa de arena estéril de 1 a 3 cm de altura en el fondo de la maceta para facilitar el drenaje. Posteriormente, se rellenó aproximadamente $\frac{3}{4}$ del volumen total de la maceta con el sustrato estéril preparado. En el centro de la de la maceta se colocó el inóculo y por encima de éste se colocaron las semillas esterilizadas. Finalmente, toda la superficie del sustrato contenido en la maceta se cubrió con una capa de arena estéril para evitar la contaminación y se regó a capacidad de campo con agua corriente.

DESARROLLO

Determinación de la biomasa vegetal bajo distintos usos de suelo

Una vez finalizado el período de crecimiento de las especies vegetales utilizadas como plantas trampa, la totalidad de la materia vegetal aérea fue cosechada, secada a temperatura ambiente hasta peso constante y éste se registró como productividad primaria (PP).

Inóculo

Obtención del Inóculo

Las muestras de suelo que se utilizaron como inóculo (inóculo-suelo) para el cultivo de las PT se recolectaron durante el mes de febrero de 2017, correspondiente a la estación verano en el área de estudio ubicada en el Distrito del Caldén, Ecorregión Espinal, República Argentina. El procedimiento consistió en establecer 4 parcelas rectangulares ($n=4$) de 90 m X 30 m en cada unidad de uso de suelo estudiadas; de cada vértice y del centro de cada parcela se recolectó una submuestra de suelo, las 5 submuestras obtenidas fueron homogeneizadas. En el laboratorio, el homogeneizado se tamizó y secó a temperatura ambiente para eliminar el exceso de humedad y la proliferación de contaminantes. Finalmente, los suelos-inóculos se almacenaron en heladera a 4°C hasta el momento de su utilización en los bioensayos de PT.

Cada uno de los inóculos provino de una parcela diferente y de diferentes usos de suelo. En total se estudiaron 4 usos de suelo:

Bosques de Caldén (*Prosopis caldenia* Burkart)= Bosque
 Pasturas de pasto llorón (*Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees)= Llorón
 Cultivos de alfalfa (*Medicago sativa* L.)= Alfalfa
 Monocultivos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)= Soja

El número total de inóculos-suelo utilizados fue de 16; se realizaron 4 repeticiones de cada uno de los inóculos utilizados, es decir, hubo 4 macetas inoculadas con suelo proveniente del mismo homogeneizado, teniendo un total 64 macetas con inóculos (16 inóculos-suelo x 4 repeticiones). Además, por cada parcela se utilizó una maceta control sin inóculo-suelo (16 macetas) para confirmar la viabilidad de la semilla y el crecimiento de las plantas, teniendo en los bioensayos de PT un total final de 80 macetas.

Caracterización del Inóculo

La composición de las comunidades de HMA presentes en cada inóculo utilizado se determinó previamente al bioensayo de PT. Para ello, cada muestra de suelo original de donde se obtuvo cada inóculo-suelo se procesó para la extracción de esporas y esporocarpos de los HMA en 100 g de suelo siguiendo los métodos de tamizado húmedo, decantación (Gerdemann & Nicolson, 1963) y centrifugación en gradiente de sacarosa (Walker et al., 1982). Las esporas y esporocarpos de HMA fueron aislados y montados en preparados semipermanentes en una solución de glicerina:agua al 70% V/V y en una mezcla de esta solución con reactivo de Melzer. Posteriormente, los HMA extraídos de las muestras fueron observados con un microscopio óptico (40X y 100X) para cuantificar su diversidad medida como riqueza absoluta de especies y abundancia de cada especie por 100 g de peso seco del suelo original.

Análisis estadístico

Para determinar si había diferencia entre la productividad asociada a los diferentes inóculos provenientes de los distintos usos del suelo estudiados se realizó la prueba de Kruskal-Wallis. Se eligió este tipo de prueba debido a que los datos no cumplían con todos los supuestos de ANAVA. La prueba de comparación de medias se realizó por el test de Conover al 0,05 de probabilidad con corrección de Bonferroni. Además, se realizó un análisis de correlación de Spearman para determinar si había relación entre la riqueza de especies de HMA del inóculo, la abundancia de esporas y la PP. El programa estadístico utilizado para realizar los análisis fue R (versión 4.0.3) (R Core Team, 2021), con el paquete "conover.test" (versión 1.1.5) para análisis estadísticos específicos, y los paquetes "ggplot2" y "plotly" para realizar gráficos.

RESULTADOS

La PP medida a través de la producción de biomasa vegetal utilizando el método de plantas trampa difirió significativamente entre los distintos usos del suelo original ($H= 11,669$ $p= 0,008$). Se observó una mayor biomasa vegetal en las PT con inóculos provenientes del uso Alfalfa, seguido por los inóculos-suelo provenientes del uso Bosque, Llorón y Soja (Tabla 1, Figura 2). Al realizar las comparaciones múltiples entre las macetas con inóculos diferentes, se observaron diferencias significativas entre las macetas con inóculos de Bosque vs las macetas con inóculos Soja ($p= 0,0010$), las macetas con inóculos de Llorón vs las macetas con inóculos de Alfalfa ($p= 0,0075$) y las macetas con inóculos de Alfalfa vs las macetas con inóculos de Soja ($p=0, 0003$) (Tabla 2). La PP solo estuvo correlacionada positivamente y significativamente ($p= 0,01003$) con la riqueza de especies de HMA presentes en el inóculo (Figura 3), mientras que correlación entre la PP y la abundancia de HMA no fue significativa.

Tabla 1. Productividad primaria medida como peso seco en gramos en relación con la presencia de inóculo de cada uso del suelo (Alfalfa, Bosque, Llorón, Soja). Riqueza de especies y abundancia de esporas de HMA en cada tipo de inóculo. Los valores representan la media $\pm$ la desviación estándar (D. E.) de la variable

Variable	Bosque	Llorón	Alfalfa	Soja
Productividad primaria (g)	8.61 ± 1.77	2.72 ± 1.74	7.97 ± 2.10	0.89 ± 0.85
Riqueza de especies de HMA	33 ± 8	14 ± 1	31 ± 10	17 ± 6
Abundancia de esporas de HMA	272 ± 181	822 ± 262	1435 ± 514	1613 ± 1288

Fuente: Elaboración propia

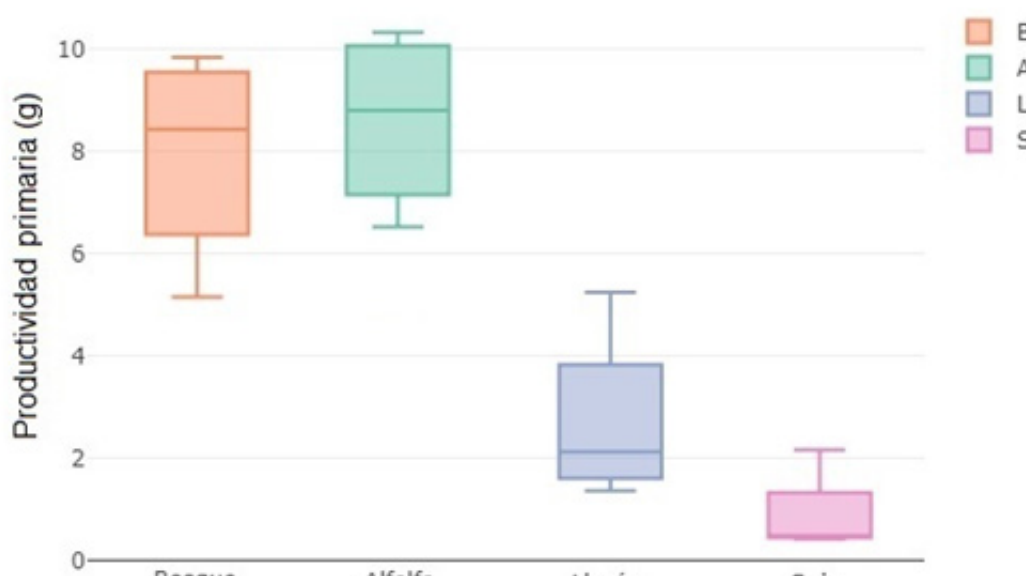


Figura 2. Productividad primaria medida en gramos de materia seca en bioensayos de plantas trampa en los distintos usos de suelo (Alfalfa, Bosque, Llorón, Soja).

Nota. Los datos se representan mediante gráfico de cajas y barras truncadas; las cajas representan la productividad primaria (PP) medida como peso seco en gramos y las barras truncadas la desviación estándar del tratamiento con inóculos.

Tabla 2. *Tabla 2. Resultados del test de Conover. Los asteriscos (*) representan diferencias significativas en la PP en presencia de los diferentes tipos de inóculos.*

	Alfalfa	Bosque	Llorón
Bosque	0.704761		
	1.0000		
Llorón	3.805711	3.100950	
	0.0075*	0.0275	
Soja	5.638091	4.933330	1.832379
	0.0003*	0.0010*	0.2754

Fuente: Elaboración propia

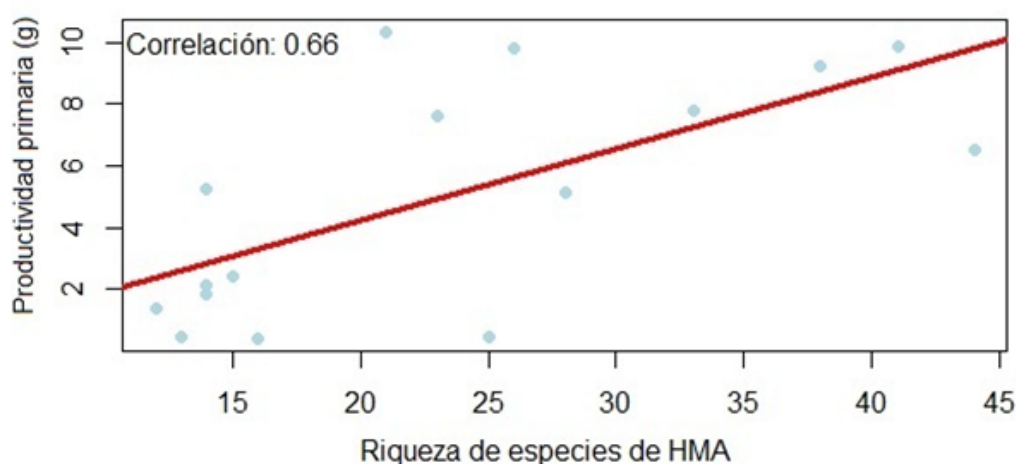


Figura 3. *Diagrama de dispersión y gráfico de correlación entre la riqueza de especies de HMA presente en cada inóculo y la PP de plantas trampa en gramos. Referencias: Correlación, indica el coeficiente de correlación de Spearman.*

DISCUSIÓN

En los bioensayos se registraron diferencias significativas en cuanto a la PP de las PT hospedantes de los HMA bajo tratamiento con inóculos-suelo de los diferentes usos de la tierra del Distrito del Caldén en el Espinal. Teniendo en cuenta que las condiciones en las que crecieron todas las plantas hospedantes fueron las mismas, y las variables experimentales se mantuvieron controladas en el bioensayo, se asume que los cambios en la PP están relacionados con los diferentes inóculos-suelo utilizados. Así, las diferencias en la PP estarían directamente relacionados con cambios en la comunidad de microorganismos edáficos, particularmente con cambios en la comunidad de HMA que componen cada uno de los inóculos-suelo (Bosque, Alfalfa, Llorón y Soja) aplicados. En este trabajo, se demuestra que grandes cambios en la composición general de la comunidad de HMA se manifestaron principalmente a través de una marcada alteración en la producción de biomasa vegetal (PP), provocada probablemente por un cambio en la estructura de la comunidad de HMA en el suelo de

cada uso agronómico analizado coincidiendo con otros autores (van der Heijden *et al.*, 1998). Además, las diferencias en la PP podrían atribuirse a las diferencias en la intensidad de la perturbación causada por cada tipo de uso de la tierra (Bosque, alfalfa, Llorón y Soja), ya que una mayor intensidad de uso agronómico disminuye la diversidad de HMA, y cada uno de los usos del suelo estudiados presenta una intensidad de disturbio propia y por lo tanto, cada tipo de inóculo utilizado posee una diversidad propia de HMA, afectando diferencialmente a la producción y acumulación de biomasa en las plantas hospedantes. Asimismo, el análisis de correlación apoya la presencia de este efecto diferencial de cada suelo-inóculo sobre la PP ya que hubo una relación positiva entre la riqueza de especies de HMA que componen cada tipo de inóculo y PP obtenida de cada planta hospedante.

Más aún, el conjunto de análisis y de resultados obtenidos en nuestro experimento con plantas trampa, coincide con los resultados obtenidos por otros autores en diferentes regiones del mundo (Köhl *et al.*, 2014; Maherali & Klironomos, 2007). En general, la productividad de las plantas hospedantes es una función del aumento de la riqueza de HMA y de las diferentes comunidades de HMA en los suelos que modifican el crecimiento de las plantas (Köhl *et al.*, 2014), que puede estar afectado directamente tanto por la densidad como por la composición de especies del inóculo de HMA (Neri-Luna & Villarreal-Ruiz, 2012).

La menor PP fue observada en macetas inoculadas con suelo proveniente de las parcelas con mayor actividad agrícola (parcelas con monocultivo de soja). Esta menor productividad estuvo directamente correlacionada con la menor diversidad de especies de HMA que contenía este inóculo. La menor riqueza de especies observadas en el suelo-inóculo Soja sería consecuencia de la actividad agrícola sostenida, ya que existe evidencia de que la diversidad microbiana subterránea en general, y particularmente la diversidad de HMA se ve afectada por la actividad antropogénica, particularmente las prácticas agrícolas reducen el número de especies encontradas en el suelo (Wagg *et al.*, 2011 y referencias allí), habiéndose demostrado que la riqueza de HMA se reduce con la intensificación de las prácticas agrícolas (Wagg *et al.*, 2011 y referencias allí). Particularmente, la riqueza de especies así como la abundancia de esporas de HMA puede verse ampliamente afectada por la fertilización, la secuencia de cultivos y los períodos de barbecho (Köhl *et al.*, 2014). Por lo tanto, existe evidencia para afirmar que en el Distrito del Caldén, al igual que en otras regiones, la pérdida de la diversidad de HMA que se produce en los sistemas agrícolas (van der Heijden *et al.*, 1998 y referencias en él) podría afectar negativamente a la productividad del agroecosistema, aumentando además la inestabilidad del sistema completo (van der Heijden *et al.*, 1998). De esta manera, la menor PP de las plantas que crecieron en presencia de los inóculos provenientes de los sitios con mayor intensidad de uso agrícola estaría explicada por una menor diversidad de HMA en los inóculos, ya que en diferentes estudios se observó una relación directa entre la riqueza de HMA y la productividad vegetal (Wagg *et al.*, 2011 y referencias en él).

El menor crecimiento y acumulación de biomasa como PP por parte de las plantas que crecieron en presencia de los inóculos provenientes de parcelas con cultivo de soja, podría deberse a la composición de especies de este inóculo. Se ha demostrado que la alteración del suelo creada por las actividades relacionadas con el monocultivo anual pueden actuar seleccionando especies de HMA de rápido crecimiento, pero que son menos mutualistas y menos eficientes para mejorar la absorción de nutrientes de la planta hospedante allí). Además, en relación al inóculo, la alteración física producida por la actividad mecánica de la siembra directa puede destruir las redes de hifas y puede resultar en una colonización reducida del suelo y de las raíces provocando una reducción del potencial del inóculo (van der Heyde *et al.*, 2017 y referencias allí) obtenido de suelos con intensa actividad agrícola. Como consecuencia, la actividad agrícola intensa puede seleccionar taxones de HMA resistentes a la perturbación y que adquieren menores cantidades de nutrientes (Köhl *et al.*, 2014).

La mayor productividad asociada a las plantas que crecieron en contacto con inóculos provenientes de los sitios menos perturbados (Bosque y alfalfa) y que contenían una mayor riqueza de especies, podría ser sustentada por la complementariedad que puede ocurrir entre las diferentes especies de HMA (Wagg *et al.*, 2011). La complementariedad entre especies de HMA ha sido demostrada

previamente en algunos trabajos (Wagg *et al.*, 2011) y esta sugiere que si una planta es colonizada por varias especies de HMA que son complementarias en sus funciones (ej. absorción de nutrientes de diferentes depósitos del suelo), pueden resultar más beneficiosas para la planta, que si es colonizada solo por una especie (Wagg *et al.*, 2011 y referencias en él). Sin embargo, también es necesario tener en cuenta que una mayor productividad podría ser explicada por la presencia de una o de algunas especies en particular y no solo por el efecto aditivo positivo de un gran número de especies, ya que existe mayor probabilidad de que las comunidades ricas en especies contengan al azar una especie de HMA especialmente productiva (Huston, 1997) y beneficiosa para determinadas especies vegetales.

El aumento de la PP también podría ser explicado por la segregación y facilitación de nichos, ya que diferentes grupos filogenéticos de HMA poseen diferentes estrategias de vida y tienen diferentes efectos sobre el hospedante (Maherali & Klironomos, 2007). Por lo tanto, un inóculo nativo con mayor diversidad, es probable que contenga un mayor número de especies o familias de HMA, distantes filogenéticamente, que podrían ocupar distintas regiones de la raíz o de la rizósfera y contribuir de manera complementaria al crecimiento de la planta. Existen determinadas especies de HMA con una tendencia a producir una importante cantidad de micelio externo (ME) cerca de la raíz, mientras que otras producen menos cantidad de micelio pero son capaces de explorar zonas distantes (Smith *et al.*, 2000), demostrándose que diferentes especies podrían ocupar diferentes nichos en la rizósfera. El ME es potencialmente importante en la asociación simbiótica y en el crecimiento de las plantas, ya que la mayor productividad puede estar asociada a este tipo de micelio, debido a que incrementa el área de absorción de la raíz de la planta hasta en 100 veces (Carreón-Abud *et al.*, 2008). Así las plantas micorrizadas tienen mayor contenido de macro y micronutrientes (Carreón-Abud *et al.*, 2008), debido principalmente a que el ME contribuye a una mejor movilidad de iones inorgánicos en la micorrizósfera (la rizósfera de la raíz colonizada por hongos micorrícicos (Garbaye, 1991)) por cambios en el pH, producto de la expulsión de protones y de la producción de ácidos orgánicos de bajo peso molecular (Miller & Kling, 2000). Particularmente, el aumento de la diversidad de HMA resultaría en una explotación más eficiente del fósforo del suelo y en un mejor uso de los recursos disponibles en el sistema (van der Heijden *et al.*, 1998). Incluso se ha demostrado en muchas especies de HMA la habilidad del ME para absorber y transferir no solamente HPO_4^{2-} ó H_2PO_4^- sino también Zn_2^+ , Cu_2^+ , NO_3^- y NH_4^+ hacia las plantas hospedantes (Smith *et al.*, 2001).

Debido al efecto positivo de los HMA, en general, las plantas micorrizadas presentan un incremento en las tasas fotosintéticas, mayor tolerancia a la sequía y a la salinidad (Carreón-Abud *et al.*, 2008 y referencias en él), lo que podría explicar el aumento de la PP en nuestros experimentos. También es bien conocido que los HMA contribuyen al incremento de la tolerancia de la raíz a patógenos (Smith & Read, 2008) y además contribuyen a la captación de metales pesados en suelos contaminados (Carreón-Abud *et al.*, 2008). De esta manera las plantas micorrizadas y en un buen estado nutricional pueden soportar e incluso disminuir el daño ocasionado por la presencia de patógenos en sus raíces, impidiéndole que se propague por el resto de los órganos vegetales (Carreón-Abud *et al.*, 2008), generando así condiciones óptimas para el crecimiento y producción de biomasa por parte de sus hospedantes.

Por otro lado, algunos experimentos con plantas y microorganismos edáficos han demostrado que las propiedades y características de los ecosistemas se pueden explicar con éxito utilizando rasgos funcionales y diversidad funcional (van der Heijden & Scheublin, 2007 y referencias en él). Por lo tanto, sería interesante realizar un análisis alternativo que implique considerar la identidad de los HMA en lugar de solo la diversidad como explicación para los cambios en la productividad vegetal. Relacionando con estos análisis y resultados, y teniendo en cuenta que una mayor diversidad en el inóculo podría implicar una distribución diferente de grupos funcionales podríamos suponer que no solo existe un cambio en la diversidad de HMA presente en cada uso de suelo de donde provienen los inóculos, sino que también existen diferencias en cuanto a los grupos funcionales de los HMA en cada uso. Por lo tanto, podríamos afirmar que el cambio en el porcentaje de especies que componen diferentes grupos funcionales de HMA podría afectar directamente a la productividad de las plantas, coincidiendo con resultados obtenidos por otros autores (van der Heijden & Scheublin, 2007). Los rasgos funcionales de los HMA pueden diferir considerablemente entre las especies que pertenecen a diferentes familias.

Existen familias de HMA que pueden estar relacionadas a la defensa contra patógenos (Glomeraceae) y otras que pueden relacionarse con una mayor eficiencia de captación de P (Gigasporaceae) (Maherali & Klironomos, 2007), por lo tanto una especie hospedante que tenga la posibilidad de crecer en presencia de ambas familias podría tener mayor productividad debido a la complementación de los efectos beneficiosos. Así, más allá de los cambios en cuanto a diversidad de HMA que puede haber en cada uno de los inóculos, es importante tener en cuenta que no solo se cambia la diversidad *per se*, sino también se cambia la diversidad funcional, lo que probablemente tenga importantes efectos sobre el ecosistema suelo, sobre las plantas que habitan estos agroecosistemas y sobre la productividad de las mismas.

CONCLUSIONES

En este estudio se muestra diferencia significativa en la productividad primaria producida por hospedantes que crecieron en presencia de distintos inóculos de suelo provenientes de usos de la tierra diferentes que contenían esporas de HMA. De esta manera la evidencia sugiere que existe una relación entre la productividad primaria y la diversidad de HMA que existe en suelos bajo diferentes usos. El aumento de la intensidad agrícola tuvo efectos negativos sobre la productividad de las plantas que crecieron en las macetas con inóculos provenientes de las parcelas con mayor perturbación (monocultivo de Soja), seguido por pasturas de pasto Llorón, cultivo de Alfalfa y Bosques.

En general, los resultados observados en este trabajo muestran el efecto negativo que pueden tener las prácticas agrícolas sobre las comunidades de HMA, y como estos efectos podrían afectar el rendimiento y la productividad primaria neta en el área de estudio. Teniendo en cuenta la importancia de la productividad en gran parte de los ecosistemas terrestres áridos y semi-áridos, y de la importancia de esta función ecosistémica en sector norte del Distrito del Caldén, de la Ecorregión Espinal, y el efecto positivo de los HMA sobre la productividad, es importante considerarlos al momento de elaborar planes de manejo y producción, sobre todo en ecosistemas áridos y semi-áridos sobreexplotados como el Caldenal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Campanelli, A., Ruta, C., Mastro, G. De, & Morone-Fortunato, I. (2013). The role of arbuscular mycorrhizal fungi in alleviating salt stress in *Medicago sativa* L. var. icon. *Symbiosis*, 59(2), 65–76. <https://doi.org/10.1007/s13199-012-0191-1>
- Carrasco, N., Zamora, M., & Melin, A. (2011). Manual de sorgo. In N. Carrasco, M. Zamora, & A. Melian (Eds.), INTA (1°). INTA Ediciones. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_de_sorgo_renglon_191.pdf
- Carreón-Abud, Y., Gomez Dorantes, N., & Martínez Trujillo, M. (2008). Las micorrizas arbusculares en la protección vegetal. *Revista Biológicas*, 10(1), 60–70.
- Connor, D. J., Loomis, R. S., & Cassman, K. G. (2011). *Crop ecology: productivity and management in agricultural systems* (Second). Cambridge University Press.
- Ejersa, M. T. (2021). The role of arbuscular mycorrhizal fungi on agricultural crop productivity and ecosystem service : A review. *International Journal of Agroforestry and Silviculture*, 9(2), 1–9.
- Garbaye, J. (1991). Biological interactions in the mycorrhizosphere. *Experientia* 1991 47:4, 47(4), 370–375. <https://doi.org/10.1007/BF01972079>
- Gerdemann, J. W., & Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46(2), 235–244.
- Guiñazú, L. B., Andrés, J. A., Del Papa, M. F., Pistorio, M., & Rosas, S. B. (2010). Response of alfalfa (*Medicago sativa* L.) to single and mixed inoculation with phosphate-solubilizing bacteria and *Sinorhizobium meliloti*. *Biology and Fertility of Soils*, 46(2), 185–190. <https://doi.org/10.1007/s00374-009-0408-5>
- Huston, M. A. (1997). Hidden treatments in ecological experiments: Re-evaluating the ecosystem function of biodiversity. *Oecologia*, 110(4), 449–460. <https://doi.org/10.1007/S004420050180>
- Jaizme-Vega, M. C., & Rodríguez-Romero, A. S. (2008). Integración de microorganismos benéficos (Hongos micorrícicos y bacterias Rizosféricas) en agrosistemas de las Islas Canarias. *Agroecología*, 3(0), 33–40.
- Jeffries, P., Gianinazzi, S., Perotto, S., Turnau, K., & Barea, J. M. (2003). The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils*, 37(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0546-5>
- Köhl, L., Oehl, F., & Van Der Heijden, M. G. A. (2014). Agricultural practices indirectly influence plant productivity and ecosystem services through effects on soil biota. *Ecological Applications*, 24(7), 1842–1853. <https://doi.org/10.1890/13-1821.1>
- Lugo, M., Iriarte, H. J., Crespo, E. M., Torres, M. L., Ontivero, E., Risio, L., Menoyo, E., & Ballesteros, S. (2018). *MICODIF: Manual de Metodologías para el trabajo con hongos y sus simbioses*. Nueva Editorial Universitaria - UNSL.
- Maherali, H., & Klironomos, J. N. (2007). Influence of phylogeny on fungal community assembly and ecosystem functioning. *Science*, 316(5832), 1746–1748. <https://doi.org/10.1126/science.1143082>
- Marten, G. G. (1988). Productivity, stability, sustainability, equitability and autonomy as properties for agroecosystem assessment. *Agricultural Systems*, 26, 291–316. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0308521X88900467>

- Martínez-Rubin de Celis, E., Rivas-Robles, E., Martínez-Corral, L., Frías-Ramírez, J., Orozco-Vidal, J., Fortis-Hernández, M., & Segura Castruita, M. A. (2011). Alfalfa (*Medicago sativa* L.) production in soil at different bulk densities under controlled conditions. *Phyton*, 80, 189–192. <https://doi.org/10.32604/phyton.2011.80.189>
- Miller, R. M., & Kling, M. (2000). The importance of integration and scale in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 226(2), 295–309. <https://doi.org/10.1023/A:1026554608366>
- Morton, J. B., Snyder, M., Sturmer, S. L., Heldretch, K., Nichols, K. A., & Wheeler, W. (1996). Classification and Identification of arbuscular mycorrhizal fungi. In *Workshop at the First International Conference on Mycorrhizae*.
- Neri-Luna, C., & Villarreal-Ruiz, L. (2012). Simbiosis micorrízica: un análisis de su relevante función ecosistémica y en la provisión de servicios ambientales. *Interacciones Ecológicas, October 2012*, 37–62.
- R Core Team. (2021). R Core Team 2021 R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. <https://www.R-project.org/>. In *R Foundation for Statistical Computing* (Vol. 2). <https://www.r-project.org/>.
- Schüßler, A., Schwarzott, D., & Walker, C. (2001). A new fungal phylum, the Glomeromycota: Phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 105(12), 1413–1421. <https://doi.org/10.1017/S0953756201005196>
- Smith, F. A., Jakobsen, I., & Smith, S. E. (2000). Spatial differences in acquisition of soil phosphate between two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with *Medicago truncatula*. *New Phytologist*, 147(2), 357–366. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00695.x>
- Smith, & Read. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis* (3rd ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6>
- Smith, S. E., Dickson, S., & Smith, F. A. (2001). Nutrient transfer in arbuscular mycorrhizas: How are fungal and plant processes integrated? *Australian Journal of Plant Physiology*, 28(7), 683–694. <https://doi.org/10.1071/pp01033>
- van der Heijden, M. G. A., Klironomos, J. N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A., & Sanders, I. R. (1998). Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396(6706), 69–72. <https://doi.org/10.1038/23932>
- van der Heijden, M. G. A., & Scheublin, T. R. (2007). Functional traits in mycorrhizal ecology: their use for predicting the impact of arbuscular mycorrhizal fungal communities on plant growth and ecosystem functioning. *New Phytologist*, 174(2), 244–250. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02041.x>
- van der Heyde, M., Ohsowski, B., Abbott, L. K., & Hart, M. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungus responses to disturbance are context-dependent. *Mycorrhiza*, 27(5), 431–440. <https://doi.org/10.1007/s00572-016-0759-3>
- Verbruggen, E., Rölíng, W. F. M., Gamper, H. A., Kowalchuk, G. A., Verhoef, H. A., & van der Heijden, M. G. A. (2010). Positive effects of organic farming on below-ground mutualists: Large-scale comparison of mycorrhizal fungal communities in agricultural soils. *New Phytologist*, 186(4), 968–979. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03230.x>
- Wagg, C., Jansa, J., Schmid, B., & van der Heijden, M. G. A. (2011). Belowground biodiversity effects of plant symbionts support aboveground productivity. *Ecology Letters*, 14(10), 1001–1009. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03888.x>

doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01666.x

Walker, C., Mize, C. W., & McNabb, H. S. (1982). Populations of endogonaceous fungi at two locations in central Iowa. *Canadian Journal of Botany*, 60(12), 2518–2529. <https://doi.org/10.1139/b82-305>

EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN PARA EL CRECIMIENTO DE CUYES DE GRANJAS COMERCIALES

EVALUATION OF FEEDING SYSTEMS FOR THE GROWTH OF GUINEA PIGS FROM COMMERCIAL FARMS

Eduardo Vargas Luna

Correo: eduardovargasluna87@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6958-3337>

Pág. 49 - 56

RECIBIDO

[14/08/2022]

ACEPTADO

[23/08/2022]

PUBLICADO

[31/08/2022]



RESUMEN

El propósito de este artículo fue evaluar el crecimiento de cuyes destetados a partir de tres sistemas de alimentación: i) integral, ii) mixto comercial y iii) mixto de granjas. Para ello, se empleó un estudio experimental, en el participaron 180 cuyes machos destetados (14 días $\pm$ 5 días), pertenecientes a dos granjas comerciales de Perú: la Granja de Cieneguilla de la Universidad Nacional de la Molina y la Granja Allin de Manchay. Se efectuó un diseño completo al azar de 3x2 para establecer el orden en que se implementaron los sistemas de alimentación, determinando la elaboración de seis tratamientos, con una frecuencia de tres repeticiones, en grupos de 10 integrantes. Los tratamientos siguieron tres combinaciones que variaron de acuerdo al genoma evaluado: (C1: alimento balanceado de granja + chala forrajera y agua) ; (C2: alimento balanceado comercial mixto + chala forrajera + agua) y (C3: alimento comercial integral + agua). Los resultados fueron analizados a través de la prueba de Durcan, en donde se evidencia variaciones significativas entre los sistemas de evaluación en función al incremento de peso, conversión calórica, rendimiento porcentual de carcasa y el rubro económico, siendo el sistema integral y mixto, los que obtuvieron mejores resultados en todos los indicadores mencionados, por lo que se concluye que existen diferencias productivas entre la alimentación balanceada de granja y complementaria, donde este último refleja una alta rentabilidad y retribución económica en el rubro comercial agropecuario del país.

Palabras clave

sistemas de alimentación, cavia porcellus, genotipos, producción comercial, sector agropecuario

ABSTRACT

The purpose of this article was to evaluate the growth of guinea pigs weaned from three feeding systems: i) integral, ii) mixed commercial and iii) mixed farm. For this, an experimental study was used, in which 180 weaned male guinea pigs (14 days $\pm$ 5 days) participated, belonging to two commercial farms in Peru: the Cieneguilla Farm of the National University of La Molina and the Allin Farm of Manchay. A complete random design of 3x2 was carried out to establish the order in which the feeding systems were implemented, determining the elaboration of six treatments, with a frequency of three repetitions, in groups of 10 members. The treatments followed three combinations that varied according to the evaluated genome: (C1-farm balanced feed + forage shawl and water) ; (C2: mixed commercial balanced feed+forage shawl+water) and (C3: whole commercial feed+ water). The results were analyzed through the Durcan test, where there are significant variations between the evaluation systems based on weight gain, caloric conversion, percentage carcass yield and the economic item, being the integral and mixed system, the ones that obtained better results in all the mentioned indicators, so it is concluded that there are productive differences between balanced farm and complementary feeding, where the latter reflects a high profitability and economic remuneration in the agricultural trade area of the country.

Keywords

feeding systems, cavia porcellus, genotypes , commercial production, agricultural sector

INTRODUCCIÓN

La subsistencia del ser humano en la sociedad se basa en la reproducción y explotación económica de recursos naturales, un proceso que ha impactado de diferentes formas en su calidad de vida (Castillo *et al.*, 2017). Desde épocas prehistóricas, se evidencia que los sujetos obtenían su propio alimento a través de actividades tradicionales como la caza y pesca, las cuales con el tiempo se fueron complementando con otros rubros económicos, destacando el desarrollo de la agricultura, la pesca, la ganadería y el comercio. En Sudamérica, los primeros animales domesticados fueron la llama y el cuy, este último criado desde la época precolombina por la población andina debido al alto valor proteico de su carne, una demanda que termino desembocando una comercialización masiva a nivel global (Flores *et al.*, 2018).

Actualmente, el cuy es calificado científicamente como una especie herbívora monogástrica, un mamífero que cuenta con una población aproximada de 35 millones de cuyes distribuidos en 4 países: Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia; siendo estos dos últimos donde esta especie predomina con mayor uniformidad (Salinas *et al.*, 2020). Esto significó la sostenibilidad de un recurso económico, especialmente para los pobladores rurales, quienes lo aprovechan como fuente importante de ingresos gracias a la venta de su carne y excedentes productivos (Ortiz *et al.*, 2021). Perú es considerado el mayor reproductor de cuy, durante el 2019, alcanzó valores que bordearon los 11.600t, representando el 16, 6 % de las exportaciones, según el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), lo que permitió catalogarse en los primeros exportadores mundiales de ese año (Jahuira *et al.*, 2021).

A nivel socio-productivo, existe una mayor preocupación por la tecnificación de la crianza de cuyes, lo que ha generado el desarrollo de diferentes modelos y estrategias para obtener un mejor rendimiento en cuanto al peso y crecimiento de estos animales (Ricce, 2021). Diversos estudios coinciden en señalar

que la alimentación que percibe esta población es fundamental para su comercialización, ya que un déficit proteico se traduce en una producción de crías con menor peso, escaso crecimiento, baja fertilidad y menor conversión alimenticia, lo que significaría una gran pérdida económica (Bernal & Vázquez, 2020). La alimentación de los cuyes suele variar desde el uso de forraje verde, alimentos balanceados o la combinación mixta o integral de ambos elementos. Por lo general, el sistema alimentario más utilizado por los productores se basa en una alimentación exclusiva de forraje, la cual puede llegar a representar el 70 % de costos económicos debido al incremento de precio de alimentos verdes, así como la escasez de espacios para su producción. Esta técnica de forraje consta en la concentración de la vitamina C, lo cual brinda una mejor calidad de ácidos grasos y proteínas, sin embargo, no lo suficiente para permitir el crecimiento poblacional comercial de esta especie (Tafur, 2021 & Huaman, 2021). En ese sentido, los expertos recomiendan conocer con mayor profundidad la alimentación que se deben suministrar a los cuyes, enfatizando en una dieta equilibrada en cuanto a la cantidad de dosis y proteínas, e incorporando una base alimenticia en función a otros suplementos concentrados (Red de Multiservicios Regionales, 2021). Por ello, es necesario buscar implementar nuevos sistemas alimenticios que permitan obtener una mayor optimización productiva que posibiliten la rentabilidad de este negocio (Bernal & Vázquez, 2020). Bajo este panorama, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el crecimiento de cuyes comerciales a partir tres sistemas alimenticios: i) integral, ii) mixto comercial y iii) mixto integral.

MARCO TEÓRICO

LA ALIMENTACIÓN Y EL CRECIMIENTO DE LOS CUYES EN EL RUBRO COMERCIAL

El cuy es un mamífero roedor perteneciente a la familia Caviidae, calificado como una especie herbívora por excelencia, originario de la zona sudamericana andina (FAO, 2022). Su anatomía se caracteriza por poseer un cuerpo alargado y un sistema esquelético notable, llegando a alcanzar los 20 a 25 cm de longitud corporal y un peso en los 700 a 1200 g, así como una carcasa entre 67% y 74%, características biométricas que llegan a su estado de maduración a las 12 semanas de edad (Rubio *et al.*, 2018). Los estudios realizados a esta especie, evidencian que su carne cuenta con un alto valor proteico, el cual está compuesto por proteínas, grasas, carbohidratos y minerales (Taípe *et al.*, 2021), nutrientes que son indispensables en la dieta alimenticia del ser humano. Bajo este panorama, es que distintas disciplinas se han concentrado en mejorar la producción de esta especie.

Canto y Saucedo (2018) mencionan que el bienestar de esta población depende en gran medida de una optimización digestión, y, por ende, de una dieta balanceada, pues cualquier factor que altere la flora estomacal incide en la aparición de efectos negativos como el surgimiento de bacterias dominantes y subdominantes en el colon lo que termina afectando directamente en el crecimiento y el peso. En ese contexto, es importante señalar que el sistema digestivo del cuy funciona a partir de dos tipos de digestión: una enzimática que se desarrolla a nivel estomacal, y otra microbiana a nivel del ciego. La mayor o menor actividad de este sistema va estar relacionada con el tipo de alimentación que reciban esta población durante su crianza (Valverde *et al.*, 2021).

La crianza de cuyes implica la planificación de una gestión técnico-productiva adecuada a su potencial genético, en el que se debe considerar el manejo de factores biológicos y ambientales, entiendo estos términos como el conjunto de elementos que condicionan un ambiente favorable para la reproducción de cuyes mejorados, en el cual, la genética, la alimentación y el clima juegan un rol indispensable. Por lo general, la alimentación del cuy debe estar basada en un forraje o alimentos que contengan vitaminas características de las plantas verdes, además de ser necesario el consumo de materia seca, el cual está compuesto en base a granos o alimentos balanceados mixtos (Ramírez y Cárdenas, 2022).

En ese sentido, cabe mencionar que se han desarrollado diferentes sistemas de alimentación, considerando que actualmente los criadores están afrontando grandes dificultades por la reducción de producción forrajera (Bernaola *et al.*, 2021), a modo de que se están implementando dietas a base

de una alimentación mixta e integral. Estos sistemas son definidos como la combinación de (forraje+ alimento balanceado); en donde el primer elemento cumple la función de brindar volumen, vitaminas y sales; mientras el segundo aporta proteínas y energía (Reynaga *et al.*, 2020). Generalmente, la fuente del suplemento concentrado suele utilizarse en menor medida que el alimento vegetal, aunque dicha situación puede variar por la escasez de pastos. En el país, este suplemento se formula a partir de maíz, afrecho de trigo, soya, entre otros (SAC, 2022). Los estudios como la de los investigadores (Salinas *et al.*, 2020) afirman que la producción en base a una alimentación exclusivamente forrajera contempla una demora de 15 días más, en comparación a una dieta mixta. Cabe mencionar que este déficit no solo afecta en el crecimiento, sino que también influye en el contenido de la carcasa, un componente de gran valor nutritivo para el consumo humano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se desarrolló en las instalaciones del Programa de Investigación de Carnes de la Universidad Nacional Agraria La Molina entre los meses de noviembre del 2011 y enero del 2012. El propósito fue evaluar el crecimiento de cuyes destetados a través de tres sistemas de alimentación: i) integral, ii) mixto comercial y iii) mixto de granjas. Para ello, se empleó una metodología experimental descriptiva, un enfoque que permitió observar los cambios biométricos que presentaron los cuyes por la implementación de los nuevos sistemas de alimentación. En ese sentido, se contempló un periodo experimental de 56 días, en donde participaron 180 cuyes destetados machos ($14 \text{ días} \pm 5 \text{ días}$) pertenecientes a dos germoplasmas comerciales, población que estuvo distribuida en dos grupos iguales de 90 integrantes correspondientes a dos locales comerciales: la granja de Cieneguilla de la Universidad Nacional Agraria La Molina y la granja Allin-Perú, ubicada en Manchay. Esta evaluación contempló 5 variables de repuesta: ganancia de peso, rendimiento de carcasa, conversión alimentaria, retribución económica y merito económico. Cabe mencionar, que si bien, el plan de evaluación fue planificada en 10 semanas, los datos fueron analizados después de 8 semanas de implementar este programa, tiempo en el que la población alcanzó el peso comercial convencional establecido en el rubro agropecuario.

La investigación se dividió en fases: i) la fase pre experimental en la que se acondicionaron las pozas de crianza de cuyes, proceso en el que se realizó una limpieza y desinfección exhaustiva de los corrales con un fosfato de baja toxicidad, además de colocar la coronta molida, material que es conocido por ser utilizado para armar las camas de los animales de granja. Este periodo tuvo una duración de 7 días, tiempo en el que los animales se aclimataron a las nuevas condiciones ambientales y nutricionales del lugar. Para la segunda fase experimental se inició con el nuevo protocolo de alimentación, el cual fue determinado a través de un diseño completamente al azar (DCA) con un análisis factorial 3×2 , en donde se estableció aplicar 6 tratamientos, con un nivel de frecuencia de 3 repeticiones, cada aplicación estuvo constituida por una poza de 10 cuyes.

Tabla. 1

Tratamiento alimenticio según el genotipo de estudio

Genotipo de estudio	Tratamiento
T-I) Genotipo de Cieneguilla de UNALM	Alimento balanceado de Cieneguilla más Chala forrajera y agua
T-II) Genotipo Cieneguilla de UNALM	Alimento balanceado comercial mixto de crecimiento más chala forrajera y agua
T-III) Genotipo Cieneguilla de UNALM	Alimento balanceado comercial integral de crecimiento más agua
T-IV) Genotipo Allin-Perú	Alimento balanceado comercial mixto de crecimiento más chala forraje y agua
T-VI) Genotipo Allin-Perú	Alimento balanceado comercial integral de crecimiento más agua

Fuente: Elaboración propia

Retomando los datos de la tabla 1, se observa que los sistemas de alimentación se basaron en nutrientes propios de las granjas de la UNALM y ALLIN, además de nutrientes balanceados mixtos y comerciales, los cuales fueron complementados con una chala de forraje y agua. Estos alimentos se ofrecieron en tolvas con una capacidad de 2.0 kg. Un procedimiento que se realizó diariamente por las mañanas, basándose en el 20% del peso vivo promedio del animal, cantidad base para cubrir los requerimientos alimenticios que necesita la población de estudio. No obstante, cabe mencionar que este varío de acuerdo al sistema de alimentación.

- **Alimentación Mixta:** Esta técnica es conocida como sistema mixto, el cual consiste en la incorporación de suplementos concentrados en nutrientes. Suele ser la técnica más usada en periodos de escasez de forraje.
- **Alimentación Integral:** Esta alimentación se caracteriza por cubrir con todos los requerimientos nutricionales que necesitan los animales, sin la necesidad de incorporar un forraje, característica que permite su factibilidad en el uso comercial.

Respecto al forraje utilizado, se empleó un forraje verde en base de maíz de chala, de variedad Marginal 28, sembrada en su estado de inicio de floración en los espacios del Programa de Hortalizas de la UNALM. La dieta consistió en el suministro de hojas y tallos del tercio superior de la planta y la inflorescencia. En la tabla 2, se visualiza la composición que tuvo cada uno de los tratamientos alimenticios en función a la calidad de humedad, proteínas, grasa, ceniza y fibra cruda, y registrando la cantidad de vitaminas suficientes para su correcto crecimiento biométrico de los genotipos evaluados. Un análisis químico que se realizó en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA).

Tabla. 2

Análisis proximal de los alimentos y chala forrajera (base fresca)

Análisis (%)	Alimentación Mixta UNALM	Alimentación Allin Perú	Alimentación Cieneguilla UNALM	Alimentación Integral UNALM	Chala forrajera
Humedad	9.99	9.87	9.42	11.40	86.00
Proteína total (Nx6.25)	19.95	17.48	20.29	20.95	1.35
Grasa	3.20	2.98	3.79	2.70	0.15
Fibra cruda	9.13	9.61	6.85	4.50	3.46
Ceniza	6.86	6.85	6.51	5.47	0.86
ELN	50.87	53.21	53.14	54.98	8.18

Fuente: Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA-UNALM)

La información restante fue analizada mediante la técnica estadística ANVA, en donde se analizó la diferenciación que existió por cada tratamiento aplicado, evaluación que estuvo complementada por un estudio comparativo través de la Prueba de Duncan (0.005 de error); además de verificar el mérito económico calculando la diferencia de los ingresos por kilogramo de peso vivo y peso de carcasa, menos los egresos que signifique el costo total de alimentación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 3, se plasma el efecto que tuvo los sistemas de alimentación en la población de estudio, en donde se evidencia que la alimentación con base en el sistema integral presentó mayor incidencia positiva en torno a la ganancia de peso, obteniendo un peso final de (1117.83) y una ganancia total de (759.15), seguido de la alimentación mixta comercial que produjo resultados idénticos, alcanzando un peso final de (1042.12) y una ganancia total de (684.65). Propuesta que concuerda con (Huamani et al,2016), quienes efectúan un estudio sobre la influencia de los sistemas de alimentación en la

producción de cuyes, en donde manifiestan que la alimentación integral y mixto comercial muestran una relación significativa con el rendimiento productivo, desarrollando una ganancia de peso de (2166,5) y (2478.3) respectivamente.

Tabla. 3

Efecto de los sistemas de alimentación sobre el peso y ganancia de peso

Parámetros	Sistema de Alimentación		
	Mixto		Integral
	Granjas	Comercial	
Peso vivo inicial(g)	350.50	357.50	358.67
Peso vivo final(g)	957.05	1042.12	1117.83
Ganancia total de peso	596.62	684.65	759.15
Ganancia diaria de peso(g/d) (1)	10.65	12.22	13.55
Ganancia diaria de peso	11.43		13.55

En esa línea, respecto a la conversión alimentaria, en la tabla 4 se representa una alta diferencia significativa($P<0.01$) entre los sistemas de evaluación, en donde el sistema integral generó una mejor conversión alimentaria con (3,88 kg) en función al incremento de peso vivo; seguido del sistema mixto comercial de la UNALAM, el cual obtuvo una conversión de (4,28 kg). Hallazgos que dialogan con (Reynaga et al.,2020) que analizaron los mismos sistemas de alimentación en las razas de cuyes del país, demostrando que la alimentación integral presenta mayor eficiencia en la conversión alimentaria($p<0.05$) reportando un valor de (2.81), en comparación del (3,26) que desarrollo el sistema mixto; además de evidenciar mejores resultados en la raza peruana andina.

Tabla. 4

Efectos de los sistemas de alimentación sobre la conversión alimentaria

Parámetros	Sistema de Alimentación		
	Mixto		Integral
	Granjas	Comercial	
Peso vivo inicial(g)	350.50	357.50	358.67
Peso vivo final(g)	957.05	1042.12	1117.83
Ganancia total de peso	596.62	684.65	759.15
Ganancia diaria de peso(g/d) (1)	10.65	12.22	13.55
Ganancia diaria de peso	11.43		13.55

Otro indicador a considerar es el rendimiento de carcasa, entiendo este término como el peso que se logró de la muerte del animal beneficiado. En este caso, en la tabla 5, no se muestran diferencias significativas entre el peso al beneficio y el rendimiento de carcasas de la población de cuyes, salvo en el peso de carcasa, en el que el sistema mixto e integral obtuvieron valores de (69,57) y (69,65) presentando una diferencia mínima de (0.08). En esa línea, (Huamán et al., 2021) señala que la alimentación mixta basada en alfalfa + un complemento balanceado genera un mejor peso (547,27) y rendimiento de carcasa (62,20), a diferencias de otros tratamientos compuestos exclusivamente de forraje.

Parámetros	Sistemas de alimentación		
	Mixto Granjas	Mixto-UNALM	Integral-UNALM
Peso vivo(g)	971.84	1,086.84	1,157.34
Peso de carcasa(g)	671.64	761.11	806.08
Rendimiento de carcasa (%) (1)	69.11	70.03	69.65
Rendimiento de carcasa (%) (2)	69.57		69.65

Fuente: Elaboración propia

En el comercio, estos indicadores se reflejan en dos rubros: la retribución y el mérito económico, los cuales fueron analizados después de culminar con la evaluación experimental. Como se observa en la tabla, la retribución fue calculada en la función de Kg, en donde se evidencia que el sistema integral obtuvo mayores resultados acordes al peso vivo (17,55) y peso de carcasa (26,81); variación que se repite en torno al mérito económico, en donde se muestra una diferencia porcentual de entre los sistemas de estudio. Al respecto, (Sarria et al., 2019) señalan que los costos de los sistemas integral desarrollan diferencias en función al sexo, presentando un menor crecimiento para los cuyes hembras reproductoras, generando un mayor costo económico en la implementación de esta dieta, en comparación de la alimentación mixta que significó un gasto de (5.00 y 4.65)

Tabla. 6

Retribución y mérito económico por sistemas de alimentación

Rubros	Sistemas		
	Granjas	Mixto	Integral
Retribución económica			
Por Kg. de peso vivo	16,20	17,55	17,89
Por Kg. de peso carcasa	24,88	26,81	28,02
Mérito económico (%)			
Por Kg. de peso vivo	100	108,32	110,42
Por Kg. de carcasa	100	107,76	112,63

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

La literatura científica evidencia que el crecimiento biométrico de los cuyes depende en gran medida de la alimentación que percibe esta población, la cual debe estar mediada por una dieta rica en vitaminas, proteínas y grasas, por lo que es importante considerar implementar un sistema de alimentación que genere un consumo equilibrado entre forrajes y otros suplementos alimenticios, para así evitar el desarrollo de carencias que interferían en su salud y, por ende, en su comercialización. En este estudio, se realiza la evaluación de tres sistemas de alimentación: i) sistema de granja, ii) sistema mixto comercial y iii) sistema integral, en función de una muestra de 180 cuyes machos destetados y el establecimiento de seis tratamientos alimenticios, durante un tiempo experimental de 56 días, en donde se evidencia una mayor incidencia del sistema comercial e integral ($P < 0.01$), siendo este último el que obtuvo mejores resultados en cuanto a la ganancia de peso y conversión alimentaria, salvo en el rendimiento de carcasa, en el que se denota que hubo un progreso igualitario para todos los sistemas y genotipos evaluados. Hallazgos que se tradujeron en un mayor rendimiento económico-productivo, variable que fue medida a través de dos rubros: i) la retribución y ii) el mérito económico. En ese sentido, se recomienda fomentar este tipo de alimentación en las industrias comerciales agropecuarias, con el fin de generar mejores beneficios productivos, sin elevar costos económicos a niveles que no garanticen la sostenibilidad de este rubro, el cual se caracteriza por sostener las principales economías del sector rural del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bernal, W & Vázquez, H. (2020). Índices productivos en cuyes mejorados (*Cavia porcellus*) en la fase de crecimiento, alimentados con harina de bituca (*Colocasia esculenta*). *Revista de Invest. Agropecuaria Scientia and Biotechnology*, 1(1), 1-10. <http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/RIAGROP/article/view/657/913>
- Bernaola F., Chauca, L & Orrego, F. (2021). Efecto de la suplementación enzimática en parámetros productivos de cuyes. *Anales Científicos*, 82(2), 312-317. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v82i2.1794>
- Canto, B y Saucedo, S (2018). Efecto de suplementación con probiótico (*Lactobacillus*) en dietas de alfalfa y concentrado sobre parámetros productivos de cuyes mejorados en crecimiento y engorde. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 1(2), 39-44. <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v3i2.317>
- Castillo, A., Hermógenes, J & Mosquera, J. (2017). Naturaleza y Sociedad: Relaciones y Tendencias desde un enfoque eurocéntrico. *Revista Luna Azul*, 44, 348- 371. <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.21>
- FAO (07 de septiembre, 2022). Producción de cuyes (*Cavia porcellus*). Disponible en <https://www.fao.org/3/W6562s/w6562s01.htm>
- Flores, L., Moscoso J., Camero J., Angulo T., Jeri J & Del Solar M (2018). Momento óptimo de sacrificio comercial de cuyes (*Cavia porcellus*) criados bajo distintos sistemas de alimentación. *Ciencia Veterinaria*, 8(1), 7-15. doi: 10.18004/compend.cienc.vet.2018.08.01.07-15
- Huamaní, G., Otto, Z., Gutiérrez G y Vélchez P. (2016). Efecto de tres sistemas de alimentación sobre el comportamiento productivo y perfil de ácidos grasos de carcasa de cuyes. *Rev. Investig. Vet. Perú*, 27(3), 486- 494. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v27i3.12004>
- Huamán, D., Huayhua, J., Acosta, E & Palomino W. (2021). Comportamiento productivo en cuyes (*Cavia porcellus*) machos raza Perú bajo el efecto de tres sistemas de alimentación, criados en condiciones de valles interandinos del Perú. *Agroindustrial Science*, 11(2), 179- 183. <http://dx.doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.02.07>
- Jahuira, M., Arias, J., Diaz, F & Chauca, L. (2021). Análisis del índice de temperatura-humedad sobre la mortalidad y el peso corporal de cuyes (*Cavia porcellus*) de la línea sintética en Moquegua, Perú. *Cienc. Tecnol. Agropecuaria*, 23(1), DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num1_art:2014
- Ortiz, P., Florian, A., Estela, J., Rivera, M., Hobán, C & Murga, C. (2021). Caracterización de la crianza de cuyes en tres provincias de la Región Cajamarca, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(2), 1-10. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v32i2.20019>
- Ramírez, W y Cárdenas, C (2022). Parámetros productivos de cuyes mejorados en tres densidades de crianza, distrito de Tocache. *Rev.Vet. Zootec.Amaz.*, 2(2), 1-9. <https://doi.org/10.51252/revza.v2i2.357>
- Reynaga, M., Vergara, V., Chauca, L., Muscari, J y Higaonna, O (2020). Sistemas de alimentación mixta e integral en la etapa de crecimiento de cuyes (*Cavia porcellus*) de las razas Perú, Andina e Inti. *Rev. Investig. Vet. Perú*, 31(3), 1-9. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i3.18173>
- Red de Multiservicios Regionales SAC (06 de septiembre, 2022). *Crianza Comercial de cuyes*. Disponible en <https://www.rmr-peru.com/crianza-de-cuyes.htm>

- Ricce, M. (2021). Efecto de pozas, jaulas y pirámides sobre la evaluación productiva en *Cavia Porcellus*, distrito de Luya, Amazonas. *Revista de Investigación Científica UNTRM*, 4(1), 51-56. <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v4i1.696>
- Rubio, P., Chávez, J., Febres, G & Deza, H. (2018). Predicción de peso de carcasa a la edad de beneficio en cuyes del genotipo Cieneguilla con base a una síntesis de medidas corporales. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 29(2), 507-513. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v29i2.14476>
- Sarria, J., Vergara, V., Cantaro, J y Alejandro, P (2019). Evaluación de niveles de energía digestible en dos sistemas de alimentación en la respuesta productiva y reproductiva de cuyes (*Cavia porcellus*). *Rev. Investig.vet. Perú*, 30(4), 1315- 1526. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17173>
- Salinas, J., Gómez, J., Viñan, P & Loor, J. (2020). Concentraciones de harina aviar en dietas para cuyes (*Cavias porcellus*) en gestión y lactancia. *Revista Ciencia e Investigación*, 5(2), 1-13. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3820518>
- Tafur, J (2021). Efecto del genotipo de *Cavia porcellus* en indicadores de reproducción y progenie, distrito Luya, Amazonas. *Revista de Investigación Científica UNTRM*, 4(1), 44-50. <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v4i1.695>
- Taipe, C., Ventura, A., Corilla, D & Espinoza, G. (2021). La Crianza de Cuy y Procesamiento Con Fines de Exportación en la Provincia de Acobamba. *Dominio de las Ciencias*, 7(3), 1659-1679. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i3.2210>
- Valverde, P., Trujillo, J., Diaz, H y Toalombo, P (2021). Alimentación de cuyes (*Cavia porcellus*) con pastos y forrajes de clima tropical en Pastaza-Ecuador bajo un sistema de crianza piramidal. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 16, 59-66. https://aicarevista.jimdo.com/app/download/19268700925/AICA_Vol16_Trabajo011.pdf?t=1635176446