

Agaria

**Revista Científica de la
Facultad de Ciencias Agrarias**



**Facultad
de Ciencias
Agrarias**



UNJu
Universidad
Nacional de Jujuy

Año 2025 | Volumen 18 (1)

Queda hecho el depósito que marca la ley.

ISSN 2362-4035 (Digital)

Año 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JUJUY

Rector

Mg. Ing. Agr. Mario César Bonillo

Vicerrectora

Dra. Lic. Liliana del Carmen Bergesio

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS - UNJu

Decana

Dra. Noemí del Valle Bejarano

Vicedecana

Dra. Raquel Ángela Romeo

Sec. Académica: Mg. Susana E. Álvarez

Sec. Administrativa: Ing. Agr. Rodolfo Aguado

Sec. Extensión y Difusión: Ing. Agr. Graciela Elisa Simón

Sec. Ciencia y Técnica y Posgrado: Dra. Claudia B. Gallardo

COMITÉ EDITOR

Dra. Ing. Agr. Claudia Gallardo

Dra. Lic. en Cs. Biol. Nancy Hernández

COMITÉ REVISOR

Dra. Natalia Ávilas Carreras

Dra. Cecilia Giulianotti

Dr. Cirstian Humano

Dr. Marcos Tejerina

Dr. Matías Yañez

Master Ing. Agr. Gustavo Guzmán

M. Sc. Ing. Agr. David Montenegro

M. Sc. Ing. Agr. Juan E. Regazzoni

Esp. Doc. Sup. Ing. Agr. Mónica Valdiviezo Corte

Ing. Agr. José R. Catacata

Ing. Agr. Jorge Quiquinto

REVISIÓN Y TRADUCCIÓN

Master Esp. Trad. Liliana Beatriz Chávez

EDICIÓN Y DISEÑO

D.G. Marina Schimpf



**Facultad
de Ciencias
Agrarias**



UNJu
Universidad
Nacional de Jujuy

Alberdi N° 47, San Salvador de Jujuy | Jujuy | Argentina | C.P. 4600

Revista Científica de la FCA es producida y financiada por la Facultad de Ciencias Agrarias - UNJu

CONTENIDO/CONTENTS

TRABAJOS

7-21 pag.

ANÁLISIS DE LA BRECHA ENTRE LA PRÁCTICA ACTUAL Y LOS REQUISITOS DE LA ISO 9001:2015 EN CINCO EMPRESAS ALIMENTARIAS DE LA PROVINCIA DE JUJUY

ANALYSIS OF THE GAP BETWEEN CURRENT PRACTICES AND ISO 9001:2015 REQUIREMENTS IN FIVE FOOD COMPANIES IN THE PROVINCE OF JUJUY.

22-33 pag.

ESTUDIO DE PAPAS ANDINAS EXPUESTAS A RIEGO CON AGUA CON ARSÉNICO CULTIVADAS EN INVERNADERO EN LA PUNA JUJEÑA

STUDY OF ANDEAN POTATOES EXPOSED TO IRRIGATION WITH ARSENIC-CONTAMINATED WATER CULTIVATED IN A GREENHOUSE IN THE PUNA REGION OF JUJUY

34-43 pag.

CARACTERIZACIÓN BIOINFORMÁTICA DE GENES CODIFICANTES DE PROTEÍNAS ASOCIADAS A DEGRADACIÓN DE CLORPIRIFOS EN *Trichoderma* spp. AISLADAS DE SUELOS DE LA QUEBRADA DE HUMAHUACA

BIOINFORMATIC CHARACTERIZATION OF GENES ENCODING PROTEINS ASSOCIATED WITH CHLORPYRIFOS DEGRADATION IN *Trichoderma* spp. ISOLATED FROM SOILS OF THE QUEBRADA DE HUMAHUACA

44-55 pag.

ECONOMÍA DE LA PRODUCCIÓN TABACALERA: EL CASO DE LA PROVINCIA DE JUJUY

ECONOMICS OF TOBACCO PRODUCTION: THE CASE OF JUJUY PROVINCE

56-67 pag.

AULA INVERTIDA: UNA PROPUESTA DE INNOVACIÓN PEDAGÓGICA EN LA ASIGNATURA DISEÑO EXPERIMENTAL

FLIPPED CLASSROOM: A PROPOSAL FOR PEDAGOGICAL INNOVATION IN THE SUBJECT OF EXPERIMENTAL

DESIGN

68-79 pag.

BACTERIAS DEL INTESTINO DE HORMIGAS ASOCIADAS A COLMENAS, CON CAPACIDAD ANTIMICROBIANA

ANT GUT BACTERIA ASSOCIATED TO HIVES HAVING ANTIMICROBIAL CAPACITY

COMUNICACIÓN

80-88 pag.

ANÁLISIS DEL AVANCE DE LA FRONTERA AGROPECUARIA DEBIDO A LA DEFORESTACIÓN Y SUS CONSECUENCIAS EN LA ZONA DE PALMA SOLA- JUJUY, ARGENTINA- DURANTE EL PERÍODO (1990-2015)

ANALYSIS OF THE AGRICULTURAL FRONTIER ADVANCEMENT DUE TO DEFORESTATION AND ITS CONSEQUENCES IN PALMA SOLA- JUJUY, ARGENTINA- DURING 1990-2015

89-97 pag.

DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UNA MÁQUINA ARRANCADORA DE BULBOS PARA EL CULTIVO DE CEBOLLAS (*Allium cepa*), EN LA PROVINCIA DE JUJUY, ARGENTINA

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A BULB PLANTING MACHINE FOR ONION CULTIVATION (*Allium cepa*), IN JUJUY PROVINCE, ARGENTINA

Agraria

Revista Científica de la
Facultad de Ciencias Agrarias

ANÁLISIS DE LA BRECHA ENTRE LA PRÁCTICA ACTUAL Y LOS REQUISITOS DE LA ISO 9001:2015 EN CINCO EMPRESAS ALIMENTARIAS DE LA PROVINCIA DE JUJUY

ANALYSIS OF THE GAP BETWEEN CURRENT PRACTICES AND ISO 9001:2015 REQUIREMENTS IN FIVE FOOD COMPANIES IN THE PROVINCE OF JUJUY

Castro, C.¹, Torres, A.¹, Arjona, A. J.¹, Obando, E.¹, Velásquez P.¹, Gimenez, L. A. S.^{1,2*}, Singh, G. C.¹ y Agüero, A.¹

¹ Cátedra de Organización y Gestión de la Calidad, Facultad de Ciencias Agrarias – (FCA), Universidad Nacional de Jujuy (UNJu), Alberdi 47 (4600) San Salvador de Jujuy, Jujuy, Argentina. ² Grupo de Etnobiología y Micrografía Aplicada (GEMA), Instituto de Ecorregiones Andinas (INECOA), Universidad Nacional de Jujuy (UNJu), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (UNJu-CONICET), Bolivia 1239, (CP 4600), San Salvador de Jujuy, Jujuy, Argentina.

*Autor para correspondencia:
gimenezleila@fca.unju.edu.ar

Período de Publicación:
Julio 2025

Historial:
Recibido: 03/01/25
Aceptado: 23/05/25

RESUMEN

La seguridad alimentaria es un pilar esencial para proteger la salud del consumidor y garantizar productos confiables en un mercado competitivo. Este estudio evalúa el grado de cumplimiento de los requisitos del Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) basado en la norma ISO 9001:2015 en cinco pequeñas y medianas empresas (PYMES) del sector alimentario de la provincia de Jujuy, Argentina. Se analizaron empresas de rubros diversos, como carnicerías, panaderías, restaurantes, cervecerías artesanales y servicios de catering, utilizando una metodología cualitativa y descriptiva. Los resultados muestran que, aunque ninguna empresa alcanza un cumplimiento pleno de la norma, aquellas que presentan avances significativos (E4 y E5) evidencian una mayor capacidad para integrar procesos que fortalecerán la calidad y contribuirán a la seguridad alimentaria. Sin embargo, las brechas identificadas, como la falta de capacitación, recursos y cultura organizacional orientada a la calidad, limitan la implementación efectiva del SGC en el sector. El estudio resalta la necesidad de diseñar estrategias que incluyan programas de capacitación específicos y el fortalecimiento de capacidades internas en las PYMES para garantizar estándares de seguridad alimentaria y calidad. Estos hallazgos subrayan la importancia de avanzar en políticas y acciones que promuevan la sostenibilidad y competitividad del sector alimentario local.

Palabras clave: competitividad, cultura de calidad, estándar, cumplimiento normativo

SUMMARY

Food safety is an essential pillar to protect consumer health and guarantee

reliable products in a competitive market. This study evaluates the degree of compliance with the requirements of the Quality Management System (QMS) based on the ISO 9001:2015 standard in five small and medium-sized companies (SMEs) in the food sector in the province of Jujuy, Argentina. Companies from various sectors were analyzed, such as butcher shops, bakeries, restaurants, craft breweries and catering services, using a qualitative and descriptive methodology. The results show that, although no company achieves full compliance with the standard, those that present significant progress (E4 and E5) demonstrate a greater capacity to integrate processes that will strengthen quality and contribute to food safety. However, the identified gaps, such as lack of training, resources and quality-oriented organizational culture, limit the effective implementation of the QMS in the sector. The study highlights the need to design strategies that include specific training programs and the strengthening of internal capacities in SMEs to guarantee food safety and quality standards. These findings highlight the importance of advancing policies and actions that promote the sustainability and competitiveness of the local food sector.

Keywords: competitiveness, quality culture, standard, regulatory compliance

INTRODUCCIÓN

La implementación de un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) en cualquier compañía resulta ser una decisión estratégica, ya que permite mejorar su desempeño y proporcionar una base sólida para las iniciativas de desarrollo sostenible. Logra facilitar la toma de decisiones estratégicas adecuadas, ya que permite identificar y mejorar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (Perdomo, Munar, Hernández & Forero, 2022; Mondragón Corrales, 2023).

La International Standardization Organization (ISO) viene trabajando en diseñar normas que establecen las directrices de implementación de sistemas de gestión con fines de certificación o de contratación que no son de carácter obligatorio, pero en la última década las empresas las han tomado como un estándar de calidad.

En ese contexto, a nivel mundial las más reconocidas son la norma ISO 9001 para la implementación de sistemas de gestión de calidad. Proporciona un lenguaje técnico común entre las partes interesadas (proveedor/cliente) facilitando el comercio y transferencia de conocimientos y tecnologías. De esta manera se permite una mejor fluidez para la comercialización tanto interna como externa, transformándose en una ventaja competitiva ya que garantiza la competencia, la imparcialidad y el reconocimiento internacional (Corrales Ojeado, 2016; Mondragón Corrales, 2023).

Según el informe ISO Survey los diez países que presentaron en el año 2021 mayor índice de crecimiento en el número de certificaciones ISO 9001 fueron: China, Italia, Alemania, Japón, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, India, España, Estados Unidos de América, Francia y Brasil. De los 189 países que participaron en el informe, Argentina se encuentra en el puesto número 31, lo que es especialmente significativo para un país en desarrollo (Cianfrani & West, 2015; Hoyle, 2017).

En este sentido las pequeñas y medianas empresas son agentes importantes en la estructura económica de los países de la región no sólo por su participación en el total de firmas sino también por su aporte al empleo y, en menor medida, al producto (Palma, Parejo & Sierra, 2018; Jorge Villanueva, 2021). En general, las pymes están presentes en todos los sectores de la actividad económica siendo más fuerte su

presencia en el sector comercio. Con la aprobación de las micro, pequeñas y medianas empresas (García Simón, 2020; Perdomo *et al.*, 2022; Mondragón Corrales, 2023).

Los emprendimientos se han consolidado y apostado por formas superiores de organización en donde se desarrollan sistemas de gestión ya sea de calidad, de innovación, de producción y servicios, logística entre otros sistemas (Cabanillas Infantes, 2022; Palma *et al.*, 2018). Existen una gran variedad de trabajos de investigación que demuestran la importancia, los cambios que se generan y la participación de las empresas en la implementación del SGC (Álvarez García, Vila Alonso, Fraiz Brea & Del Río Rama, 2014; Corrales Ojeado, 2016; Palma *et al.*, 2018; Camisón, Cruz & González, 2019; Saavedra Ávila & Mendivil, 2020; Chávez Villanueva, 2021; Robalino Carrasco, 2021).

Queda claramente demostrado que a través del tiempo lo que conocemos como gestión de la calidad viene sufriendo varios procesos de transformación y adecuación declarados por diversos autores, que lo definen en base a sus investigaciones. Por lo tanto, cuando se habla de optimizar procesos, resulta ser una herramienta estratégica y fundamental tanto para las grandes como para las pequeñas compañías y logra ofrecer ventajas competitivas a los negocios en los mercados que terminan en la adopción de herramientas que les permiten llegar a alcanzar altos niveles de excelencia (Ahire, Golhar & Waller, 1996; Goetsch Stanley Davis, 2014; García Simón, 2020; Chávez Villanueva, 2021; Robalino Carrasco, 2021; Salazar Villegas, Puerto Cuero, Quintero Tabares, López Mallama & Andrade Díaz, 2023; Rosas Mamani, 2024).

Experiencias como las de Robalino Carrasco (2021) logra demostrar que diseñar el SGC y mejorar el cumplimiento de los requisitos del sistema, favoreció enormemente el desempeño de los procesos y la satisfacción de los clientes. Mientras que Salazar Villegas *et al.*, (2023), concluyen en su investigación sobre las ventajas de la certificación en las empresas prestadoras de servicios de salud, que resulta beneficioso para el sistema de gestión de calidad la elaboración detallada de un mapa de proceso para lograr el cumplimiento de su política de calidad, una estructura organizacional adecuada y la definición de las actividades, para garantizar la eficiencia de sus procesos y los requisitos de los clientes.

Araujo (2021) y Rivero (2023) realizaron trabajos en la provincia de Jujuy, ubicada en el Noroeste de Argentina sobre el diagnóstico y desarrollo de un Sistema de Gestión de Calidad (SGC) según la norma ISO 9001-2015 en una despensa y una empresa de electricidad. Ambos trabajos plantearon la importancia de un SGC como un soporte eficaz y eficiente para cumplir con los objetivos planteados, desde identificar los requisitos de los clientes hasta la satisfacción de sus necesidades, superando expectativas bajo el concepto de mejora continua y por capacitaciones.

En la provincia, las pequeñas y medianas empresas (PyMES) encuentran dificultades para implementar un Sistema de Gestión de Calidad (SGC) y enfrentar los desafíos de la globalización. La falta de conocimiento en gestión de calidad limita su capacidad competitiva frente a empresas más grandes y establecidas en los mercados nacionales e internacionales. Este estancamiento se debe, principalmente, a la falta de comprensión sobre el valor de la calidad, la importancia de la seguridad alimentaria y las restricciones financieras, que obstaculizan la adopción de tecnologías avanzadas (Rosas Mamani, 2024), en especial para las pequeñas y medianas empresas.

El presente trabajo tuvo como objetivo diagnosticar el grado de cumplimiento de los requisitos del Sistema de Gestión de la Calidad basado en la norma ISO 9001:2015 en cinco pequeñas y medianas empresas (PyMES) del sector alimentario de la provincia de Jujuy, Argentina y evaluar las brechas y oportunidades que impactan en la garantía de la seguridad alimentaria y la satisfacción del cliente.

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIAL DE ESTUDIO

La población para el presente trabajo de investigación está constituida por cinco empresas alimenticias que se encuentran desarrollando actividades en diferentes rubros del sector: carnicería, panadería, restaurante, cervecería artesanal y un servicio de catering, ubicados en la provincia de Jujuy (Fig. 1).

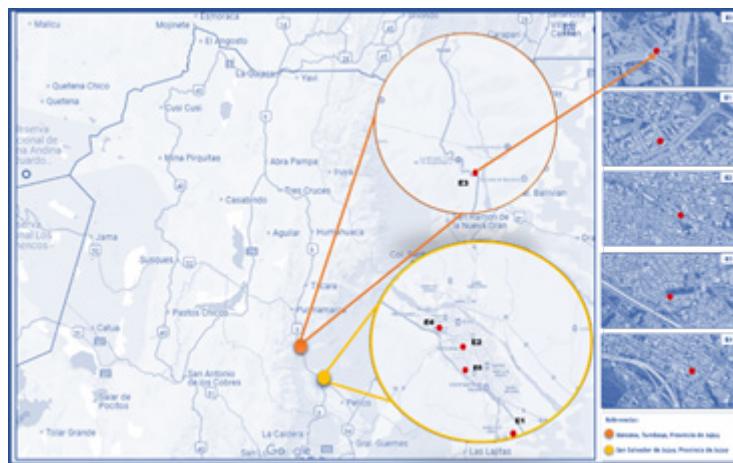


Figura 1: Ubicación de las empresas de estudio

METODOLOGÍA

El presente estudio se basó en una investigación de tipo descriptiva con un enfoque cualitativo, buscando analizar a profundidad la situación de las empresas respecto a la norma. Para ello, se utilizó una metodología documental y de campo, recopilando información tanto de fuentes bibliográficas, hemerográficas y archivísticas, como de la realidad en las organizaciones mediante entrevistas, observaciones directas, registros o documentación. Esta combinación de enfoques proporcionó un panorama actualizado y detallado. El enfoque prospectivo y transversal del estudio permitió registrar la información a medida que los fenómenos ocurrieron a lo largo del periodo de investigación. Así, se pudo analizar la situación actual de los procesos en las organizaciones, al mismo tiempo, identificar posibles avances que facilitaran a los dueños de las empresas tomar decisiones para la implementación de mejoras y estrategias que los puedan mantener a la vanguardia del mercado (Hernández, Fernández & Baptista, 2014; Álvarez García *et al.*, 2014; Vizcaíno Zúñiga, Cedeño Cedeño & Maldonado Palacios, 2023). Al combinar fuentes documentales con información de campo, el estudio logra ofrecer una visión completa y precisa de la situación actual y las posibles áreas de mejora de las empresas (Hernández *et al.*, 2014).

Técnicas y herramientas de trabajo: Las empresas seleccionadas se las identificó de la siguiente manera E1: Carnicería, E2: Panadería, E3: Restaurant, E4: Cervecería Artesanal y E5: Servicio de catering.

Se realizó una contextualización de cada una de las empresas a través de las siguientes variables Actividad: Una reseña sobre la actividad en la que se desempeñan. Personal: Se detalló la cantidad de personal, discriminando las funciones que desempeñan. Antigüedad: Se referenció la cantidad de años que se encuentran realizando la actividad que realizan. Madurez: Se referenció al grado de conocimiento e implementación respecto de un sistema de gestión de calidad.

Entrevistas: Se utilizaron entrevistas abiertas semiestructuradas, la cual se diseñó para medir las variables mencionadas relacionadas con cada empresa.

La muestra para las entrevistas estuvo compuesta por el personal de cada empresa (dueños, empleados, familiares). La cantidad de entrevistados fue determinada utilizando una tabla que tenga en cuenta un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, lo cual garantizó la representatividad y la validez estadística de los resultados obtenidos (Palma *et al.*, 2018; Saavedra *et al.*, 2020).

Observación de campo: Esta aproximación realista y directa proporciona una visión detallada de cómo se desarrollan las actividades en el día a día. Durante la observación, se tuvo en cuenta aspectos como la eficiencia de los procesos, la calidad de las interacciones entre el personal, el cumplimiento de los procedimientos y la identificación de posibles áreas de mejora. Se tomaron notas detalladas y se registraron las observaciones relevantes, lo que permitió analizar posteriormente los datos obtenidos e identificar patrones o tendencias, y crear nueva documentación.

Evaluación del estado actual: En base a los datos obtenidos de los análisis previos se planteó trabajar con una lista de verificación para determinar el cumplimiento de la normativa. Para facilitar su uso, se correlaciona con las observaciones identificadas por el observador (Palma *et al.*, 2018; Vizcaíno Zúñiga *et al.*, 2023).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en términos generales muestran una variedad de actividades entre las cinco PYMEs analizadas, que van desde la venta de productos alimentarios hasta la prestación de servicios especializados como el catering o la elaboración de cerveza artesanal (Tabla 1). El personal involucrado varía entre 3 y 7 empleados, con antigüedades que van de los 4 a 11 años. En cuanto a la madurez empresarial, si bien aún no tienen implementados formalmente sistemas de gestión de calidad, se observan niveles de apertura y disposición para integrar mejoras en sus procesos, con ciertas prácticas ya en marcha.

Tabla 1: Caracterización de las empresas

EM	ACTIVIDAD	PERSONAL	ANTIGÜEDAD	MADUREZ
E1	Se dedica a la venta de productos cárnicos y derivados de elaboración propia. Los productos cárnicos que expende son pollo, carne vacuna y porcina.	3	6 años	Aunque aún no poseen un conocimiento profundo de los sistemas de gestión de calidad, están en un nivel de madurez que refleja apertura y disposición para integrarlos. Además, ya han implementado algunos elementos que forman parte de estos sistemas.
E2	Se dedican a la venta de productos panificados y mercadería varias.	7	11 años	
E3	Ofrece servicio de cafetería, menú regional, empanadas, tamales, humitas, una variedad de sandwichería y bebidas. También posee a la venta mercadería en general, verduras y fruta de estación y de la región.	4	4 años	
E4	Se dedica a la elaboración de cerveza artesanal. Posee variedades: Golden (rubia), Bock (negra), IPA (IBU 53%), APA (IBU 27%) y Honey.	4	5 años	
E5	Se dedica al servicio de catering, que incluye actividades como preparar, presentar, ofrecer y servir comidas en todo tipo de eventos.	3	6 años	

Una observación relevante es que la empresa E2 (Panadería), con 11 años de operación, es la de mayor antigüedad del grupo estudiado, sin embargo, no refleja un alto nivel de cumplimiento de los requisitos normativos. Este resultado puede estar asociado a prácticas tradicionales arraigadas en su operación, donde los procesos se han desarrollado de forma informal y sin una orientación explícita hacia estándares internacionales de calidad.

Por otro lado, las empresas E4 (Cervecería Artesanal) y E5 (Servicio de catering), con 5 y 6 años de operación respectivamente, obtuvieron los mejores niveles de cumplimiento en ciertos capítulos de la norma. Esto sugiere que, aunque son organizaciones más recientes, muestran una mayor apertura hacia la adopción de sistemas formales de gestión, lo cual puede deberse a factores como: a) una mentalidad emprendedora más actualizada, b) que reconoce desde sus inicios la importancia de la calidad como elemento diferenciador. c) Menor rigidez organizacional, lo que facilita la adaptación a nuevos modelos de gestión. d) Incorporación temprana de buenas prácticas vinculadas a la seguridad alimentaria y la mejora continua, en concordancia con exigencias actuales del mercado.

Estos hallazgos coinciden parcialmente con lo expuesto por Mondragón Corrales (2023), quien señala que la madurez organizacional no necesariamente se relaciona directamente con el avance en gestión de calidad, sino más bien con la disposición para adoptar cambios estructurales y culturales. Asimismo, Rosas Mamani (2024) resalta que muchas PYMES con mayor tiempo operativo enfrentan mayores dificultades para modernizar sus procesos debido a resistencias internas y la percepción de que los sistemas formales de gestión representan cargas administrativas innecesarias.

En este sentido, el estudio revela que la antigüedad de una empresa no garantiza un mejor posicionamiento en términos de calidad y competitividad, sino que, en algunos casos, puede incluso convertirse en un obstáculo si los procesos tradicionales no están alineados con estándares actuales. Por el contrario, aquellas empresas que han comenzado sus operaciones en contextos donde la exigencia por la calidad y la seguridad alimentaria es mayor, tienden a integrar desde el inicio elementos que favorecen la construcción de un sistema de gestión más sólido.

La Tabla 2 detalla el grado de cumplimiento de los sistemas de gestión evaluados en las cinco empresas. El análisis de los capítulos y subcapítulos de la norma aplicados a las cinco, muestra una variación significativa en el grado de cumplimiento de cada criterio. En términos generales, los resultados revelan que las empresas están en distintas etapas de implementación y conocimiento de los sistemas de gestión de calidad, con áreas de mejora y algunos cumplimientos aceptables.

Todas las empresas tienen al menos un capítulo donde indican que no tienen conocimiento de la normativa o no cumplen en absoluto. Destacan E3 y E5, donde el porcentaje de "No sabe" es bajo, lo que indica mayor familiaridad en comparación con otras.

En los apartados donde el cumplimiento es insatisfactorio, las empresas varían. E1 y E2 muestran mayores porcentajes en el cumplimiento insatisfactorio en varios subcapítulos, lo que señala una implementación inicial, pero con carencias importantes.

Las empresas E4 y E5 presentan mejor desempeño en ciertos capítulos, con un mayor porcentaje de cumplimiento aceptable o en alto grado. Sin embargo, el cumplimiento plenamente satisfactorio sigue siendo limitado en todas las empresas.

Tabla 2: Grado de cumplimiento respecto a la norma

Capítulo y subcapítulo de la Norma	E1 (%)	E2 (%)	E3 (%)	E4 (%)	E5 (%)
No sabe	9.5	12.5	5	9.5	12.5
No se cumple	23.8	23.8	23.8	19	23.8
Se cumple insatisfactoriamente	23.8	19	28.6	23.8	19
Se cumple aceptablemente	19	19	19	19	19
Se cumple en alto grado	14.3	14.3	14.3	19	14.3
Se cumple plenamente	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5

Se presenta una comparación detallada de los requisitos de la norma entre las empresas E1, E2, E3, E4 y E5, a fin de sus niveles de cumplimiento (Tabla 3). Las E1 y E2, ambas empresas presentan porcentajes elevados en las categorías de "No se cumple" y "Se cumple insatisfactoriamente", lo que indica que requieren un esfuerzo considerable para mejorar la implementación de sus procesos de gestión de calidad. Esta situación refleja la necesidad de una evaluación más profunda de sus prácticas actuales y la adopción de estrategias efectivas que les permitan avanzar hacia un cumplimiento más robusto de la norma ISO 9001:2015.

E3: Esta empresa muestra un porcentaje relativamente bajo de "No sabe" (5%), lo que sugiere que posee un mayor conocimiento sobre la normativa en comparación con las demás. Sin embargo, es importante señalar que también enfrenta un alto porcentaje de cumplimiento insatisfactorio (28.6%). Esto indica que, a pesar de su familiaridad con los principios del SGC, la implementación efectiva sigue siendo un desafío, lo que sugiere la necesidad de reforzar sus prácticas para alcanzar un cumplimiento más satisfactorio.

E4: Se destaca como la empresa con los mejores resultados en la categoría de "Cumplimiento en alto grado", alcanzando un 19%. Este porcentaje sugiere que E4 ha logrado realizar avances significativos en la implementación de su SGC, lo que podría reflejar un compromiso más sólido con la calidad y la mejora continua de sus procesos. **E5:** Aunque presenta áreas que requieren mejora, E5 también sobresale en ciertos capítulos, logrando porcentajes similares a los de E4 en "Cumplimiento en alto grado". Esto indica que, si bien hay aspectos que necesitan atención, la empresa ha comenzado a adoptar prácticas efectivas que contribuyen a su avance en la gestión de calidad.

Tabla 3: Comparación de los requisitos respecto a las empresas

Capítulo y subcapítulo de la Norma		E1					E2					E3					E4					E5									
		NS	NC	SCI	CA	CAG	CP	NS	NC	SCI	CA	CAG	CP	NS	NC	SCI	CA	CAG	CP	NS	NC	SCI	CA	CAG	CP	NS	NC	SCI	CA	CAG	CP
		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
4. Contexto	4.1 Comprensión de la organización su contexto			X				X						X										X							
	4.2 comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas				X			X						X										X							
	4.3 determinación del alcance del sistema de gestión de calidad	X						X				X				X		X					X								
	4.4. Contexto del sistema de gestión de calidad y sus procesos			X				X				X								X				X							
5. Liderazgo	5.1 Liderazgo y compromiso					X			X					X									X								
	5.1.1. Generalidades				X			X				X									X			X							
	5.1.2. Enfoque al cliente			X				X						X								X			X						
	5.2 Política			X				X				X								X				X							
	5.2.1. Desarrollo de la política de la calidad			X				X				X								X				X							
	5.2.2 comunicación de la política de la calidad	X						X				X								X				X							
	5.3 Roles, responsabilidades y autoridades en la organización			X				X				X								X				X							

6. Planificación	6.1 acciones para abordar riesgos y oportunidades	x	x	x	x	x	x	x	x
	6.1.1. al planificar el sistema de gestión de la calidad la organización debe considerar ...	x	x	x	x	x	x	x	x
	6.1.2 La organización debe planificar ...	x			x		x		x
	6.2 objetivos de la calidad y planificación para lograrlos	x	x	x	x		x		x
	6.3 Planificación de los cambios	x	x	x	x		x		x
7. Apoyo	7.1 Recursos	x	x	x	x	x	x	x	x
	7.1.1 Generalidades	x	x	x	x		x		x
	7.1.2 Personas	x	x	x	x		x		x
	7.1.3 Infraestructura	x		x	x		x		x
	7.1.4 Ambiente para la operación de los procesos	x	x	x	x		x		x
	7.1.5 Recursos de seguimiento y Medición	x	x	x	x		x	x	
	7.1.6 Conocimiento de la organización		x	x	x		x		x
	7.2 Competencia		x		x		x		x
	7.3 Toma de conciencia		x		x		x		x
	7.4 Comunicación		x		x		x		x
	7.5 Información documentada		x	x	x		x	x	

8. Operación	8.1 Planificación y control operacional				x			x				x		x		
	8.2 Requisitos para los productos y servicio				x			x				x		x		
	8.2.1 Comunicación al cliente				x			x				x		x		
	8.2.2 Determinación de los requisitos relacionados con los productos y servicios				x			x				x		x		
	8.2.3 Revisión de los requisitos relacionados con los productos y los servicios				x			x				x		x		
	8.2.4 Cambios en los requisitos para los productos y los servicios				x			x				x		x		
	8.3 Diseño y desarrollo de los productos y Servicios	x		x	x	x	x	x	x			x	x	x		
	8.4 Control de los procesos, productos y servicios suministrados externamente	x		x	x	x	x	x	x			x	x	x		
	8.5 Producción y provisión del servicio	x		x	x			x	x			x	x	x		
	8.5.1 Control de la producción y de la prestación del servicio	x		x		x		x	x			x	x	x		
	8.5.2 Identificación y trazabilidad	x		x	x			x	x			x	x	x		
	8.5.3 Propiedad perteneciente a los clientes o proveedores externos		x	x	x			x	x			x	x	x		
	8.5.4 preservación		x	x	x			x	x			x	x	x		
	8.5.5 Actividades posteriores a la entrega		x	x	x			x	x			x	x	x		
	8.5.6 Control de los cambios		x	x	x			x	x			x	x	x		
	8.6 Liberación de los productos y servicios		x	x	x			x	x			x	x	x		
	8.7 Control de las salidas no conformes		x	x	x			x	x			x	x	x		

9. Evaluación del desempeño	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	x	x x	x	x	x	x x	x	x x				
	9.1.1 Generalidades	x	x x	x x		x x			x x x				
	9.1.2 Satisfacción del cliente	x	x x	x x	x x	x x			x x x	x	x x	x	
	9.1.3 Análisis y evaluación	x	x x	x x	x x	x x			x x x	x	x x	x	
	9.2 auditoría interna	x	x x	x x	x x	x x		x	x x	x	x x		
	9.3 Revisión por la dirección	x	x x	x x	x x	x x			x x x	x	x x	x	
10. Mejora	10.1 generalidades	x	x x	x x	x x	x x		x	x x	x	x x	x	
	10.2 no conformidad y acción correctiva	x	x x	x x	x x	x x		x	x x	x	x x	x	
	10.3 Mejora continua	x	x x	x x	x x	x x		x	x x	x	x x	x	

* **No sabe (NS), No se cumple (NC), Se cumple insatisfactoriamente (SCI), Se cumple aceptablemente (CA), Se cumple en alto grado (CAG), Se cumple plenamente (CP)**

Los resultados obtenidos en este estudio reflejan las diferencias en el grado de cumplimiento de las PYMEs analizadas respecto al Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) basado en la norma ISO 9001:2015. A pesar de la creciente relevancia del SGC para la competitividad y sostenibilidad de las empresas, los hallazgos sugieren que aún existen importantes desafíos para la plena implementación en las empresas estudiadas en la provincia de Jujuy.

En primer lugar, es evidente que ninguna de las cinco empresas alcanza un nivel de cumplimiento pleno superior al 10% en los distintos capítulos de la norma. Esto coincide con lo señalado en la introducción, donde Camisón *et al.*, (2019), Perdomo *et al.*, (2022), Vizcaíno Zúñiga *et al.*, (2023), Rosas Mamaní (2024) destacan que, si bien la gestión de la calidad es un eje estratégico para la competitividad, la adopción plena de normas como la ISO 9001 sigue siendo limitada, particularmente en países en desarrollo como Argentina. La falta de un cumplimiento más robusto también refleja lo que menciona García Simón (2020), Mondragón Corrales (2023), sobre la necesidad de una mayor concienciación y adopción de estas herramientas en las pequeñas empresas.

A nivel general, el análisis muestra que las empresas E1, E2 y E5 presentan mayores dificultades para cumplir satisfactoriamente los requisitos del SGC, con porcentajes de "No se cumple" y "Cumplimiento insatisfactorio" en torno al 23.8%. Estas cifras indican que, aunque algunas empresas han dado pasos iniciales hacia la implementación, todavía se enfrentan a carencias estructurales, como la falta de recursos o desconocimiento de los beneficios a largo plazo que puede ofrecer un SGC. Esto coincide con lo que Vásquez & Dávila (2007) apuntan sobre las dificultades de las PYMEs para desarrollar sistemas de gestión completos debido a la falta de cultura de la calidad.

Por otro lado, las empresas E4 y E5 muestran un mayor avance en términos de "Cumplimiento aceptable" y "Cumplimiento en alto grado", con E4 destacando con un 19% de cumplimiento en alto grado. Esto sugiere que, si bien estas empresas aún tienen un largo camino por recorrer, están más familiarizadas con las normativas de calidad y han comenzado a integrar procesos que cumplen con los estándares internacionales. Como señalan autores como Hoyle, (2017); Chavez Villanueva (2021); Salazar-Villegas *et al.*, (2023), el hecho de que las empresas adopten un enfoque basado en la norma ISO 9001 les permite

mejorar su competitividad y garantizar una mayor satisfacción del cliente, lo que podría explicar los mejores resultados en estas empresas.

Asimismo, un aspecto relevante es que un porcentaje considerable de las empresas aún no tiene claridad sobre algunos capítulos del SGC, con porcentajes de "No sabe" que varían entre el 5% y el 15%. Esta falta de conocimiento sugiere que, en muchos casos, los esfuerzos para implementar un SGC no están acompañados de una capacitación adecuada, lo que puede limitar el éxito de la adopción. Araujo, (2021) y Rivero (2023) ya mencionaron la importancia de una capacitación continua para garantizar que los empleados comprendan y apliquen correctamente los principios del sistema de gestión de la calidad.

En cuanto al impacto económico de la implementación del SGC, como ya se argumentaba en la introducción con base en los estudios de Ahire *et al.*, (1996); Garcia Simon (2020); Perdomo *et al.*, (2022), Mondragón Corrales (2023) y Salazar Villegas *et al.*, (2023) las empresas que logran implementar el SGC de manera eficiente experimentan una mayor satisfacción del cliente, así como una mejora en sus procesos internos. En este estudio, aunque los resultados no alcanzan un nivel de excelencia, las empresas que han comenzado a implementar partes del SGC, como E4 y E5, podrían beneficiarse económicamente a largo plazo si logran consolidar estos avances.

Aunque las empresas analizadas han dado algunos pasos hacia la implementación de un SGC, los resultados sugieren que aún se encuentran en fases tempranas de maduración. Los porcentajes bajos de cumplimiento pleno y alto grado subrayan la necesidad de una mayor concienciación, capacitación en temas de calidad, buenas prácticas de manufactura, higiene, seguridad alimentaria y recursos para que las PYMEs puedan alcanzar los beneficios que autores como Corrales Ojeado (2016); Rogala & Wawak (2021); Cabanillas Infantes (2022); Salazar Villegas *et al.*, (2023) mencionan en sus estudios. Solo mediante una integración más profunda de los principios del SGC será posible que estas empresas mejoren su posición competitiva en el mercado de la provincia. Este estudio resalta la importancia de garantizar la seguridad alimentaria mediante la adopción de un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) basado en la norma ISO 9001:2015, especialmente en pequeñas y medianas empresas del sector alimentario. Además de ser un eje clave para la competitividad, la seguridad alimentaria es un pilar fundamental para proteger la salud del consumidor y mejorar la confianza en los productos locales. Los resultados obtenidos evidencian la necesidad de diseñar e implementar programas de capacitación específicos en gestión de calidad y seguridad alimentaria dirigidos a pequeños emprendedores. Este enfoque no solo les permitirá comprender los beneficios de las normativas, sino también superar las barreras estructurales que limitan su implementación. Futuras investigaciones podrían centrarse en evaluar el impacto de estas capacitaciones y explorar soluciones tecnológicas y financieras para mejorar el acceso a estándares de calidad en este sector.

CONCLUSIÓN

El estudio demuestra que, si bien las PYMES del sector alimentario en Jujuy poseen potencial para implementar un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) basado en la norma ISO 9001:2015, enfrentan importantes desafíos estructurales, económicos y culturales que dificultan su cumplimiento efectivo.

Ninguna de las empresas evaluadas logra un cumplimiento pleno de los requisitos de la norma, con niveles de implementación que reflejan falta de conocimiento, carencias de recursos y ausencia de capacitación adecuada en temas de calidad y seguridad alimentaria.

Las empresas E4 y E5 presentan mayores avances, destacando en capítulos como mejora continua y enfoque al cliente, lo que subraya el impacto positivo de una mayor familiaridad con los principios de gestión de calidad. Sin embargo, estos avances aún son insuficientes para alcanzar los estándares esperados. Además, el caso de E2 demuestra que una mayor antigüedad empresarial no implica necesariamente un mejor cumplimiento del SGC, lo que resalta la influencia clave de otros factores como

el liderazgo y la cultura organizacional.

El análisis evidencia la necesidad de una mayor inversión en formación continua y estrategias de sensibilización orientadas a promover una cultura organizacional comprometida con la calidad y la seguridad alimentaria.

Se recomienda que las políticas públicas y las instituciones académicas colaboren en la creación de herramientas prácticas y accesibles para que estas empresas puedan adoptar los principios del SGC. Este enfoque no solo fortalecerá la competitividad del sector, sino también garantizará la seguridad alimentaria en la región, contribuyendo a la sostenibilidad y confianza en los productos locales.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahire, S. L., Golhar, D. Y., & Waller, M. A. (1996). Development and Validation of TQM Implementation Constructs. *Decision Sciences*, 27(1), 23-56. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1996.tb00842.x>
- Álvarez García, J., Vila Alonso, M., Fraiz Brea, J. A., & Del Río Rama, M. D. L. C. (2014). Relación entre herramientas y factores críticos de la calidad. *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, 23(2), 82-97. <https://doi.org/10.1016/j.redee.2012.11.004>
- Araujo, O. I. M. (2021). *Propuesta De Sistema De Gestión De Inventarios Para Generar Valor En La Toma De Decisiones Para Una Despensa En Jujuy-Argentina* 202.
- Cabanillas Infantes, M. G. (2022). *Diagnóstico para la implementación de un sistema de gestión de inocuidad alimentaria basado en la norma ISO 22000: 2018 para la planta procesadora de pollo de la empresa Redondos SA-Huacho* 2021. <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/6598>
- Camisón, C., Cruz, S., & González, T. (2019). *Gestión de la calidad: Conceptos, enfoques, modelos y sistemas*. <https://www.academia.edu/download/55513988/gestion-de-la-calidad.pdf>
- Chavez Villanueva, J. C. (2021). *Diseño de un sistema de gestión de la calidad con base en las buenas prácticas de manufactura para mejorar la producción en la empresa Contilatin SA-Lurin* 2021. <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/5971>
- Cianfrani, C. A., & West, J. E. J. (2015). *ISO 9001: 2015 Explained*. Quality Press. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=iLEDCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=International+Organization+for+Standardization+\(2015\).+ISO+9000:2015+-+Quality+management+systems+-+Fundamentals+and+vocabulary&ots=Ij2zP-XNsk&sig=2icQ-ps8r_IvnKsKs88xvbTnZ5c](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=iLEDCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=International+Organization+for+Standardization+(2015).+ISO+9000:2015+-+Quality+management+systems+-+Fundamentals+and+vocabulary&ots=Ij2zP-XNsk&sig=2icQ-ps8r_IvnKsKs88xvbTnZ5c)
- Corrales Ojeado, Á. (2016). *Implantación de un sistema de gestión de la calidad según ISO 9001 en empresa de certificación en ensayos no destructivos*. <https://oa.upm.es/id/eprint/44096>
- Garcia Simon, J. (2020). *Implementación del sistema de gestión de calidad (ISO 9001-2015) en una empresa pyme de elaboración de queso fresco Cañete-2018*. <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/4376>
- Goetsch Stanley Davis, D. L. (2014). *Quality Management for Organizational Excellence*. Pearson. [http://edilib.mi.gov.et/jspui/handle/123456789/641](http://edelib.mi.gov.et/jspui/handle/123456789/641)
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Vol. 6). México: mcGraw-Hill. <https://pdfs.semanticscholar.org/f6bf/7901dcceae8e87c5760eb13ff6ef5ff3f072.pdf>

- Hoyle, D. (2017). *ISO 9000 Quality Systems Handbook-updated for the ISO 9001: 2015 standard: Increasing the Quality of an Organization's Outputs*. Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781315642192/iso-9000-quality-systems-handbook-updated-iso-9001-2015-standard-david-hoyle>
- International Organization for Standardization. (2015). ISO 9000:2015 - Quality management systems - Fundamentals and vocabulary.
- International Organization for Standardization. (2015). ISO 9001:2015 - Quality management systems - Requirements.
- Jorge Villanueva, E. V. (2021). *Propuesta de mejora en atención al cliente para una gestión de calidad en la micro empresa restaurante chifa "Maylee" SAC, Pillco Marca, Huánuco, 2021*. <https://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/24726>
- Mondragón Corrales, J. (2023). *Modelo de un sistema de gestión de inocuidad y calidad basado en los requisitos normativos para las PYMEs de alimentos procesados de Costa Rica*. <https://repositorio.utn.ac.cr/bitstream/handle/20.500.13077/848/MODELO%20DE%20UN%20SISTEMA%20DE%20GESTION.pdf?sequence=1>
- Palma, H. G. H., Parejo, I. B., & Sierra, D. M. (2018). Gestión de la calidad: Elemento clave para el desarrollo de las organizaciones. *Criterio libre*, 16(28), 169-185.
- Perdomo, L. M., Munar, C. C., Hernández, A. M. T., & Forero, D. F. F. (2022). Fortalecimiento en la competitividad de las mipymes del corredor Productivo Rinn (Zipaquirá, Cajicá y Chía) por medio de estrategias de innovación. *Universidad y Sociedad*, 14(S2), 566-576.
- Rivero B. (2023). Diagnóstico Para La Implementación De Un Sistema De Gestión De Calidad En El Área De Calidad De Servicio Técnico De Una Empresa De Distribución De Energía Eléctrica De La Provincia De Jujuy. Master's Thesis, Universidad Católica de Salta. 200pp.
- Robalino Carrasco, D. F. (2021). *Propuesta de un sistema de gestión de calidad en la empresa de procesamiento de frutas Agropulp pura fruta del cantón Píllaro* [Master's Thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias Administrativas ...]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/handle/123456789/33025>
- Rogala, P., & Wawak, S. (2021). Quality of the ISO 9000 series of standards-perceptions of quality management experts. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 13(4), 509-525.
- Rosas Mamani, A. M. (2024). *Gestión de la calidad y su impacto en el sector empresarial*, 2024. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/12868>
- Saavedra, Y. A. M., Ávila, E. O., & Mendívil, B. C. (2020). Reflexión crítica de los sistemas de gestión de calidad: Ventajas y desventajas. *Revista En-contexto*, 8(12), 115-132.
- Salazar-Villegas, B., Puerto-Cuero, S. V., Quintero-Tabares, J. D., López-Mallama, O. M., & Andrade-Díaz, K. V. (2023). Ventajas de la Certificación ISO 9001: 2015 en las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud de los Departamentos de Cauca y Meta Colombia, en el 2016-2022. *Journal of Economic and Social Science Research*, 3(4), 1-14.

Vásquez, A. G., & Dávila, M. A. T. (2007). *Desafíos globales como megatendencias empresariales*.

Vizcaíno Zúñiga, P. I., Cedeño Cedeño, R. J., & Maldonado Palacios, I. A. (2023). Metodología de la investigación científica: Guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, 7(4), 9723-9762. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658

Agraria

TRABAJO

ESTUDIO DE PAPAS ANDINAS EXPUESTAS A RIEGO CON AGUA CON ARSÉNICO CULTIVADAS EN INVERNADERO EN LA PUNA JUJEÑA

STUDY OF ANDEAN POTATOES EXPOSED TO IRRIGATION WITH ARSENIC-CONTAMINATED WATER CULTIVATED IN A GREENHOUSE IN THE PUNA REGION OF JUJUY

Espada, P.^{1,2}, Escalera, A.^{1,2}, Choque, D.^{1,2}, Castillo, C.^{1,2}, Romero, A.^{1,2}, Ávila Carreras, N.^{1,2*}

¹Grupo INQA (Investigación Química Aplicada) Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy.

² IPAL (Instituto de Investigación, Desarrollo y Transferencia para producción de alimentos), Universidad Nacional de Jujuy.

*Autor para correspondencia:
avila.carreras@fca.unju.edu.ar

Período de Publicación:
Julio 2025

Historial:
Recibido: 22/10/24
Aceptado: 10/02/25

RESUMEN

Las papas andinas de consumo habitual en Jujuy, son cultivadas en las regiones de Quebrada, Valles de altura y Puna. En algunas regiones de la Puna se hallan volcanes y aguas termales que la convierten en una zona endémica por la presencia de Arsénico (As), poniendo en riesgo la calidad hortícola del lugar y la salud de los pobladores que consumen estos alimentos. El As es uno de los contaminantes de suelos y aguas más importantes a nivel mundial, es considerado potencialmente cancerígeno dependiendo de sus formas químicas. Este trabajo tiene por objetivo estudiar la absorción de arsénico total (AsT) en tres variedades de papas Andinas (V8: moradita), (V64: colorada); (V68: collareja) cultivadas en invernadero. Para ello, se cultivaron 20 macetas con suelos libres de arsénico, para las 3 variedades de papa seleccionadas, de las cuales 10 fueron sometidas a riego con agua arsenical ($1,2 \text{ mg.L}^{-1}$ As) provenientes del río de Pastos Chicos, departamento de Susques, Jujuy y las 10 restantes (papas control) regadas con agua de pozo de Abra Pampa, Jujuy. Los valores de AsT promedios obtenidos en las papas regadas con aguas arsenicales se encuentran entre $0,08 - 0,15 \text{ mg.kg}^{-1}$, mientras que las regadas con agua de pozo dieron valores no detectables. El AsT obtenido en todas las papas andinas fue menor al límite máximo de As que admite el Código Alimentario Argentino (CAA). El residuo de As de los suelos de las macetas regadas con agua arsenical, luego de la cosecha fue de $53,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ y $9,35 \text{ mg.kg}^{-1}$ para suelos de las papas control. Los resultados obtenidos en este estudio mostraron que las variedades estudiadas no absorben cantidades significativas de As de las aguas de riego, pudiendo ser cultivada en invernaderos con suelos de calidad y regadas

Palabras clave: papa, arsénico, agua, suelos, exposición

SUMMARY

The Andean potatoes, commonly consumed in Jujuy, are grown in the Quebrada, High Valleys and Puna regions. In some regions of the Puna there are volcanoes and thermal waters that make it an endemic area for the presence of arsenic (As), putting at risk the horticultural quality of the place and the health of the people who consume these foods. As is one of the most important soil and water pollutants worldwide, and is considered potentially carcinogenic depending on its chemical forms. The objective of this work is to study the absorption of total arsenic (AsT) in three varieties of Andean potatoes (V8: moradita), (V64: colorada); (V68: collareja) grown in greenhouses. To do this, 20 pots were grown with arsenic-free soils were grown for the 3 selected potato varieties, of which 10 were irrigated with arsenical water (1.2 mg.L^{-1} As) from the Pastos Chicos river, Susques department, Jujuy, and the remaining 10 (control potatoes) were irrigated with well water from Abra Pampa, Jujuy. The average AsT values obtained in the potatoes irrigated with arsenical water were between $0.08 - 0.15 \text{ mg.kg}^{-1}$, while those irrigated with well water gave non-detectable values. The AsT obtained in all the Andean potatoes was lower than the maximum limit of As allowed by the Argentine Food Code (CAA). The As residue in the soils of the pots irrigated with arsenical water after harvest was 53.6 mg.kg^{-1} and 9.35 mg.kg^{-1} for the control potatoes soils. The results obtained in this study showed that the varieties studied do not absorb significant amounts of As from irrigation water, and can be grown in greenhouses with quality soils and irrigated with arsenical water without producing carcinogenic effects.

Keywords: arsenic, exposure, potato, soil, water.

INTRODUCCIÓN

El arsénico (As) es un tóxico muy conocido y estudiado a nivel mundial, es un metaloide que puede estar presente de forma natural o antropogénica en el ambiente. El As se encuentra presente en la atmósfera, suelo, rocas, cuerpos de agua, minerales y organismos de formas inorgánica y orgánica (Tsai, Singh, & Chen, 2009; Valenzuela, Valenzuela, Campos, Yañez, Zarror, & Mondaca, 2009; Basu, Saha, Ghosh, 2014). El arsenito es 70 veces más tóxico que las especies metiladas y 10 veces más que el arseniato, el cual es poco soluble en agua y, por tanto, menos biodisponible (Kumaresan & Riyazuddin, 2001; Valenzuela *et al.*, 2009). Cuando el As se encuentra en formas insolubles como el trisulfuro de arsénico As₂S₃ y la arsenopirita FeAsS, no se consideran tóxicos; en cambio, cuando se encuentra en formas solubles, como As (III) y As (V), es tóxico para los organismos vivos (Santini, Sly, Schnagl & Macy, 2000). La presencia de As (III) y As (V) depende de factores físicos, químicos y biológicos, en este último, los microorganismos juegan un papel fundamental, ya que muchas bacterias son capaces de transformar As (III) a As (V) y viceversa, como un mecanismo de defensa de algunas especies bacterianas (Macur, Jackson, Botero, McDermott & Inskeep, 2004). El As (III) se encuentra como H₃AsO₃ y sus productos de disociación son (H₂AsO₃⁻, HAsO₃²⁻), que en condiciones oxidantes, son dominantes a pH alcalinos. La forma sin carga del As (III) As₂O₃ es dominante en ambientes reducidos y anóxicos, siendo así el más tóxico y difícil de eliminar. Mientras que el As (V) está presente en la forma H₃AsO₄ y sus correspondientes productos de disociación (H₂AsO₄⁻, HAsO₄²⁻ y AsO₄³⁻), siendo dominante bajo condiciones oxidantes a pH ácidos en ambientes acuosos y aeróbicos (Oremland & Stolzen, 2003; Campos, Valenzuela, Alcorta, Escalante, & Mondaca 2007; Tsai *et al.*, 2009). Las formas de As inorgánicos (arseniatos o arsenitos) son tóxicas y las más frecuentes en aguas naturales, mientras que las formas orgánicas son menos tóxicas y están presentes en

los organismos vivos, especialmente en peces y moluscos (Mandal & Suzuki, 2002). La toxicidad también depende de factores tales como el estado físico gas, solución, o el tamaño de partícula en polvos, la velocidad de absorción en las células, la velocidad de eliminación, la naturaleza de los sustituyentes químicos en el compuesto tóxico (Sarkar, Kazy & Sar, 2013).

El As puede contaminar el aire, el agua y el suelo a través de tormentas de polvo y aguas de escorrentía, por lo que la contaminación de este tóxico está muy extendida debido a su fácil dispersión (Emsley, 2001; Gillispie, Sowers, Duckworth & Polizzotto, 2015). Cuando hay mayor presencia geológica natural de As, se pueden encontrar altos niveles en aguas subterráneas. Por otro lado, las principales fuentes de contaminación de As antropogénica son la quema de carbón, fundición de metales industriales, la industria de semiconductores, y la liberación de minerales ricos en As durante la extracción minera de otros compuestos (Mukhopadhyay, Rosen, Phung & Silver, 2002). La principal vía de ingreso del As al organismo es la respiratoria que se da por exposición ocupacional. Sin embargo, su absorción está condicionada por el tamaño de las partículas, por su solubilidad y por la forma química del compuesto. Las partículas más grandes se depositan en el tracto respiratorio superior, y desde allí pueden ser removidas por las vibras o por el moco hacia el exterior o al tubo digestivo y en este, dependiendo de su solubilidad, se absorben. En el pulmón, las partículas menores de 7 μ m se absorben entre el 75 al 85%. Luego de absorbido, el As llega a la sangre, se une a las globulinas y se distribuye al hígado, pulmón, riñón y bazo, donde se une a los grupos sulfídrico de las proteínas y se acumula, en el tejido óseo compite con el fósforo desplazándolo, y una pequeña cantidad atraviesa las barreras hematoencefálica y placentaria. Dentro de las siguientes 30 horas, se deposita en cabello y uñas, mientras que los metabolitos se eliminan por la orina, Organización Mundial de la Salud (WHO/ OMS, 2022). Otra de las principales vías de ingreso es la digestiva, donde el 80% de la ingesta de As se debe al consumo de carne, pescado, pollo y agua que contiene este elemento. La EPA (United States Environmental Agency) ha establecido que el nivel máximo de As en agua potable es de 10 μ g.L⁻¹ (WHO/ OMS, 2022). Por otro lado, la exposición dérmica puede ocurrir pero de forma menos relevante.

La exposición crónica al As se ha vinculado con una variedad de procesos como proliferación celular, recombinación genética, inducción de genes y de proteínas de choque térmico. En seres humanos, se identificaron algunos factores adicionales de riesgo de desarrollar los efectos deletéreos del As, entre estos la metilación aberrante del DNA, estrés oxidativo, hiperhomocisteinemia y deficiencia en la metabolización (metilar) del As (Niedzwiecki *et al.*, 2013; Niedzwiecki *et al.*, 2014). El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC) clasifica el As dentro del grupo I por las evidencias clínicas de su acción carcinogénica para los seres humanos, debido a su capacidad para causar cáncer de piel, vejiga, hígado y/o pulmón (Jackson & Grainge, 1975; Liu & Waalkes, 2008, IARC, 2012). Sin embargo, así como ocurre para la mayoría de los efectos tóxicos del As, los mecanismos por los cuales se desarrollan los cánceres aún permanecen sin esclarecer. Teniendo en cuenta los efectos tóxicos del As sobre los seres humanos y otros organismos, la OMS ha recomendado un límite de 10 μ g.L⁻¹ de As en agua para consumo humano.

En el año 1985, se concluyó una investigación sobre el contenido de As en aguas de la provincia de Salta en la que se determinaron dos grandes zonas afectadas por este tóxico: la Puna y la Llanura chaqueña (ambas dentro del territorio salteño). Mientras que en la provincia de Jujuy, se trabajó desde 1985 hasta fines de 1987 en la determinación de As en aguas superficiales y profundas, cuantificando este elemento en 225 puntos provinciales; a través de investigaciones se construyó un mapa con los contenidos de As en estas aguas (Rey de Sastre *et al.*, 1987). En el año 2006 se realizó una digitalización mediante un georreferenciamiento de los puntos muestreados en la provincia de Jujuy según la concentración de As total en agua, a fin de poder contar con datos accesibles que permitan identificar las regiones como "sitios contaminados" (Tschanbler, Cabrera, Bovi Mitre, 2007). Además a partir del año 2008, se realizaron nuevas investigaciones en algunas de estas zonas previamente detectadas como contaminadas, para evaluar si hubo cambios en las concentraciones de As en el agua (Ruggeri *et al.*, 2009). Otros estudios realizados en vegetales, muestran que el As se absorbe de diferentes maneras en los distintos órganos de las plantas. (Yañez, Alfaro & Bovi Mitre, 2018), realizaron estudios en dos variedades de acelga, *Beta vulgaris* variedad cicla y variedad d'ampuis, cultivadas en invernadero con altas concentraciones de

AsT, en suelo la concentración fue de 49 mg.kg As y en agua de riego de 1,44 mg.L As. Los resultados mostraron mayor acumulación del tóxico en las raíces de estos cultivos, seguido de las hojas, hallándose concentraciones máximas de AsT en hojas de 8,21 mg.kg-1 y en raíces de 257,67 mg.kg-1, Lepori E.C.V., 2015, detectó en arroz concentraciones elevadas de AsT en un rango de 0,451 a 0,690 mg.kg -1. Por otro lado, (Ribet & Espósito, 2016), realizó ensayos en cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum*) en un invernadero, a los que se aplicaron aguas de riego con concentraciones de As de 0,240 mg.L-1 y los resultados arrojaron un contenido de As de 0,11 mg.kg-1 en el fruto de tomate, además, las plantas presentaron un efecto fitotóxico a medida que se incrementó la concentración de este en el agua.

En el noroeste argentino, la región andina es centro de origen o de diversificación de importantes cultivos como maíz, papa, oca, ulluco, quinua, amaranto, yacón, ajíes y pimientos, Kiwicha, tarwi y otros cultivos, forrajes, con una amplia variabilidad genética en sus poblaciones y en las especies silvestres emparentadas (Longoni, Gonzales de Prada & Sanchez Patzy, 2011). La papa andina también llamada "papa criolla" (*Solanum tuberosum* spp. andígena), se caracteriza por una gran variabilidad genética, que se manifiesta en numerosas formas y colores. Entre las variedades más comunes podemos citar la "Collareja", "Runa", "Tuni", Chacarera", "Moradita", "Rosada", "Colorada", "Luqui", "Overa", "Cuarentona", "Astilla", "Azul", "Oca papa", entre otras (Suarez & Carrizo, 2014). Estas se caracterizan por tener poca cantidad de ácidos grasos y cuenta con abundantes micronutrientes, sobre todo vitamina C. Una papa media de 150 g consumida con su piel, aporta casi la mitad de las necesidades diarias del adulto (100 mg). Además, este tubérculo tiene vitaminas B1, B3 y B6, y otros minerales como potasio, fósforo y magnesio, así como folato, ácido pantoténico y riboflavina. También contiene fibras y antioxidantes, estos últimos pueden contribuir a prevenir enfermedades relacionadas con el envejecimiento celular (FAO, 2008). Las papas andinas son ricas en muchos fitoquímicos que contribuyen a determinadas funciones biológicas. Entre estos se encuentran los flavonoides que se dividen en seis subclases principales: flavanoles, flavonoles, flavonas, isoflavonas, flavanonas y antocianinas, también exhiben diversos efectos beneficiosos para la salud como antiinflamatoria, anticancerígeno, actividades proapoptóticas y antioxidantes (Friedman, 1997; Navarre, Brown, & Sathuvalli, 2019).

En la zona andina de la provincia de Jujuy se destaca el cultivo de papa andina, por ser uno de los alimentos principales en la dieta de los pobladores. Es un alimento versátil, de alto consumo en la región debido a que se prepara y sirve en una gran variedad de formas. Actualmente se cultiva principalmente en la región de la Quebrada de Humahuaca, mientras que en la región de la Puna (con zonas endémica) se dejó de cultivar debido a la presencia de arsénico en aguas y suelos y a la falta de información de la translocación del tóxico al tubérculo.

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar la absorción de As en tres variedades de papas andinas, cultivadas en invernadero y sometidas a riego con agua arsenical, empleando suelos cuya concentración de As sea menor a las que estipula la legislación, a los fines de estudiar la posible interacción entre los antioxidantes presentes en las papas andinas con respecto al arsénico del agua de riego. Esto brindará información de la viabilidad de cultivo de papa andina en invernaderos, siendo una alternativa de agricultura para la zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en tres variedades de papas andinas que fueron cultivadas en el invernadero de la Estación Experimental Rural Agropecuaria INTA Abra Pampa, Miraflores, Provincia de Jujuy con suelos de calidad agrícola y regadas con aguas arsenicales de una zona endémica de la Puna. Las papas semillas se obtuvieron del banco de germoplasma del INTA, fueron seleccionados teniendo en cuenta las de mayor producción y consumo según datos técnicos del INTA. El agua arsenical fue extraída del río de Pastos Chicos, departamento de Susques, debido a los antecedentes bibliográficos de la presencia de As (1,44 mg.L-1 de AsT). El agua de pozo y los suelos de calidad agrícola se extrajeron del predio del INTA Abra Pampa.

Las variedades estudiadas fueron 8 (MORADITA), 64 (COLORADA) y 68 (COLLAREJA) (Figura 1) seleccionadas por ser las más cultivadas y consumidas en la provincia, según datos informados por el INTA.

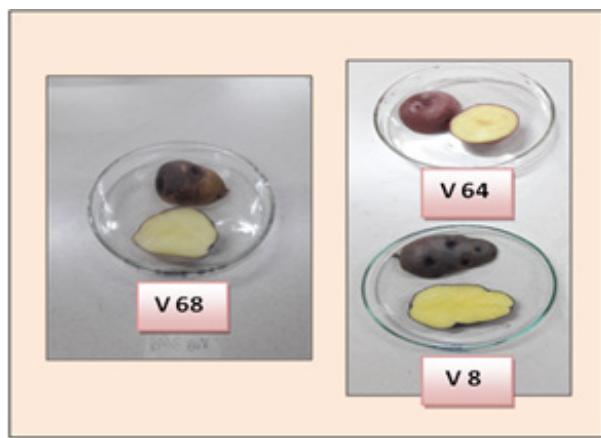


Figura 1: Variedades de papa andina seleccionadas para este estudio.

Para llevar a cabo esta investigación se recolectó agua del río de Pastos Chicos, ubicado en la localidad de Pastos Chicos del departamento de Susques. Estas aguas que consume la Comunidad Aborigen de Pastos Chicos tiene As, que proviene de las lutitas ordovícicas del Este que contienen FeS_2 (Pirita), mineral que está asociado con el As (Alcalde *et al.*, 2005) y también es afectada directamente por el volcán Tuzle.



Figura 2: Rio de Pastos Chicos, Pastos Chicos, Susques

Diseño experimental

Diseño Factorial completamente aleatorizado A x B (3×2), con 3 niveles respecto a las variedades 8, 64 y 68 y 2 factores variedad y riego en papa cruda. Considerando al factor A como las “variedades” de papa andina y el factor B el “riego” con dos niveles (con As y sin As), obteniéndose un total de 6 tratamientos.

Este estudio se realizó a partir de 20 macetas para cada una de las tres variedades de papas andinas seleccionadas, en las cuales se sembraron las papas semillas en sustratos de suelos de zonas sin As. Para cada variedad, 10 macetas fueron regadas con aguas con As y 10 con aguas de pozo (sin As). Las unidades experimentales se conformaron en pooles, agrupando 3 macetas de forma aleatorizada y la maceta restante fue fraccionada en las 3 conformadas anteriormente, para formar un pool, ver Tabla 1. De esta manera se obtuvieron 3 pooles por variedad de papa, tanto para las regadas con agua con As y sin As.

Tabla 1: Formación de pootes de las 3 variedades.

Formación de Pootes				
Variedad	Riego	Pool	Nº de la Maceta	Nº de maceta fraccionada
8	Con As	1	1 + 3 + 6	
		2	5 + 9 + 8	Maceta 7
		3	10 + 2 + 4	
	Sin As	1	1 + 8 + 10	
		2	4 + 2 + 5	Maceta 9
		3	7 + 3 + 6	
64	Con As	1	1 + 6 + 4	
		2	3 + 9 + 7	Maceta 5
		3	10 + 8 + 2	(1 unidad)
	Sin As	1	10 + 6 + 7	
		2	5 + 2 + 3	Maceta 8
		3	1 + 4 + 9	
68	Con As	1	1+6+9	
		2	2+7+10	Maceta 4
		3	3+5+8	
	Sin As	1	10+6+9	
		2	2+4+8	Maceta 3
		3	5+7+1	

Determinación de As total por espectrofotometría de absorción atómica con generación de hidruros (EAA-GH)

El As presente en forma de distintas especies químicas en los alimentos, es liberado y llevado a su máximo estado de oxidación [As(V)] por medio de un proceso de mineralización por vía seca donde se destruye toda la materia orgánica presente. Posteriormente el As (V) es reducido a As (III) utilizando una mezcla de KI/ácido ascórbico en una etapa de prerreducción. La formación de arsina (AsH_3) se produce por medio de la reacción con una solución de borohidruro de sodio ($NaBH_4$) en medio alcalino junto con una solución de ácido clorhídrico HCl como fuente de iones hidrógeno. La arsina producida es arrastrada por una corriente de nitrógeno (N_2) hacia una celda abierta de cuarzo que es calentada por una llama de aire/acetileno donde se produce la destrucción del gas arsina liberándose el As, el cual pasa a su estado elemental (As^0) donde absorbe energía a la longitud de onda característica del elemento (193,7nm) (Navoni, Olivera & Villaamil Lepori, 2009).

Procedimiento de mineralización: se toman entre 0,25-1,00 g por muestra que fueron colocados en vaso pirex de 50 mL. Luego se trató la muestra pesada con 3 mL de agente Ashing (20 %p/v de $Mg(NO_3)_2$ y 2 % de MgO). Este agente de mineralización disminuye la temperatura de carbonización, logrando una completar la digestión sin pérdida del analito. Luego se adicionó 10 mL de HNO_3 concentrado, el cual favoreció la oxidación de la materia orgánica y la formación de cloruro de nitrosilo que evitó la pérdida del analito como $AsCl_3$ (sustancia volátil a la temperatura de mineralización). La mezcla se llevó a sequedad en una manta térmica para luego ser tratada a mayor temperatura en una mufla a 450 °C por un lapso de 12h. Las cenizas blancas que fueron obtenidas luego de este tratamiento se disolvieron en 2,5 mL de HCl

concentrado. Las muestras de agua de bebida (2,5 mL) fueron directamente tratadas con 2,5 mL de HCl concentrado a fin de lograr una concentración final de HCl 6 M (Navoni *et al.*, 2009).

Preparación de muestras para análisis por EAA-GH (espectrofotometría de absorción atómica con generación de hidruros).

Las muestras fueron prerreducidas por agregado de 5 mL de solución reductora (5%p/v yoduro de potasio (KI) y 5%p/v ácido ascórbico). La cuantificación se realizó interpolando en una curva de calibración externa preparada con soluciones de concentraciones crecientes de As (V) las que fueron tratadas de igual manera a la descrita anteriormente. La mezcla resultante se mantuvo por 30 min a temperatura ambiente y la solución se llevó a un volumen final de 25 mL en matraz aforado con HCl 6M. La solución resultante se mezcló con ácido clorhídrico y borohidruro de sodio con el objetivo de generar la arsina correspondiente para poder realizar la medición. La lectura se obtuvo haciendo reaccionar los reactantes antes mencionados, por un tiempo de 40 s a fin de garantizar que la generación de arsinas llegue a un máximo de estabilidad, y sea posible proceder a realizar la lectura de absorbancia por triplicado. Las condiciones de lectura para el equipo de espectrometría de absorción atómica fueron: longitud de onda 193,7 nm; apertura de rendija de 0,5 nm; fuente de energía, lámpara de cátodo hueco a una intensidad de corriente de 6 mA, celda termostatizada a una temperatura aproximada de 900°C por medio de una llama aire-acetileno. El equipo empleado para este análisis fue un espectrofotómetro de absorción atómica acoplado a un generador de hidruros (Navoni *et al.*, 2009).

RESULTADOS

A continuación se detallan los resultados obtenidos de las concentraciones de As en papas andinas cultivadas con suelos de calidad agrícola, regadas con aguas arsenicales, ver Tabla 2 y Gráfico 1.

Tabla 2: Contenido de As en papa andina expresadas en mg/kg bh (base húmeda) por pool y desviación estándar (DE).

Variedad	Tratamiento	Pool	AsT mg.kg ⁻¹ bh	Prom. AsT mg.kg ⁻¹ bh	DE
V 8	Cruda	Sin As	1	ND	-
			2	ND	
			3	ND	
		Con As	1	0,1200	0,08
			2	0,0700	
			3	0,0407	
V64	Cruda	Sin As	1	ND	-
			2	ND	
			3	ND	
		Con As	1	0,2091	0,15
			2	0,0986	
			3	0,1410	
V68	Cruda	Sin As	1	ND	-
			2	ND	
			3	ND	
		Con As	1	0,0965	0,09
			2	0,1217	
			3	0,0752	

Los valores promedios de As obtenidos para las papas regadas con agua arsenical no tuvieron diferencias significativas entre las 3 variedades estudiadas. Las variedades que presentan diferencias significativas con sus controles son la variedad 64 y 68, mientras que la variedad 8 no presentó diferencia significativa

con su control debido a la baja concentración de AsT. La V64 es la que mostró mayor concentración de AsT y V8 la que menos absorbió As.

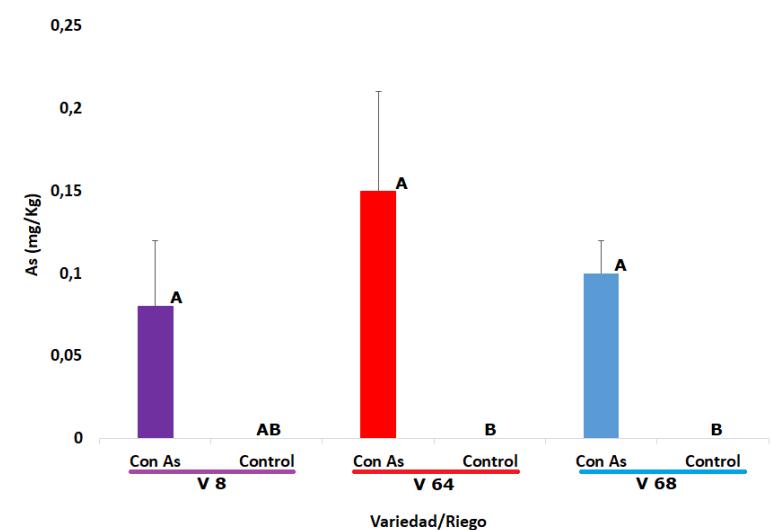


Gráfico 1: Promedio de AsT obtenidos en los pools de papas andinas según variedad

Se puede observar que no existen diferencias significativas entre las tres variedades estudiadas, sin embargo se puede ver diferencias significativas entre cada variedad y su respectivo control, a excepción de la V8 que fue la variedad que menos absorbió As. Por otro lado, la variedad que más absorbió fue la variedad 64.

Resultados en muestras de agua

Las muestras arsenicales tomadas del Río de Pastos Chicos, utilizadas para regar los cultivos de papas, fueron analizadas por duplicado, los resultados encontrados se indican en la Tabla N° 3.

Tabla 3: Valores obtenidos de presencia de As en el agua empleada para el riego de los plantines.

Descripción			Prom As (μg.L ⁻¹)	Prom As (mg.L ⁻¹)	Prom.
Muestras de agua	Fecha	Rdo As (μg.L ⁻¹)			
Muestra de agua del Río de Pastos Chicos contaminada con As	6/12/2019. Analizar por duplicado	1095,0	1106,3*	1,1	1,2
		1117,5			
Muestra de agua del Río de Pastos Chicos contaminada con As	21/2/2020. Analizar por duplicado	1240,0	1215,0	1,2	
		1190,0			

* (Yañez *et al.*, 2018)

Los resultados muestran un promedio de $1,2 \text{ mg.L}^{-1}$, superando notablemente los índices máximos establecidos por el CAA $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$, mientras que el agua de pozo empleada para el riego de las macetas testigos, dieron valores no detectables.

DISCUSIÓN

Esta investigación se centró en cultivar en invernadero tres variedades de papas andinas, empleando para el riego agua arsenical. Los resultados obtenidos ofrecen una perspectiva interesante sobre la absorción de arsénico (As) en papas andinas y permiten comparaciones con estudios previos en diferentes contextos y cultivos. Al respecto, un estudio reportado por Bundschuh *et al.*, (2012) mostró concentraciones de arsénico total (AsT) en papas (*Solanum tuberosum*) que varían entre $0,241$ y $0,864 \text{ mg.kg}^{-1}$, cuando el agua de riego contenía entre $0,05$ y $0,25 \text{ mg.L}^{-1}$ de AsT. En este estudio el agua que proviene del río Pastos Chicos presenta una concentración de arsénico ($1,2 \text{ mg.L}^{-1}$) cinco veces mayor que la citada por el autor, por lo que las concentraciones de AsT en las papas andinas, fueron comparativamente menores a los promedios máximos encontrados en el citado trabajo, con valores de ($0,08$ – $0,15 \text{ mg.kg}^{-1}$ de AsT). Además, los estudios de Bundschuh *et al.*, (2012) y Matschullat *et al.*, (2007) indican que la concentración de AsT en tubérculos es menor a $0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ establecido como límite máximo por el C.A.A, a pesar de que las concentraciones de agua de riego en estos estudios eran menores a las obtenidas en este trabajo, sin embargo estas concentraciones suman a la ingesta diaria de las poblaciones que lo consumen. Otra investigación de Islam *et al.*, (2017) realizado en Bangladesh, reportó concentraciones de AsT en el agua de consumo y riego de $4,7 \text{ mg.L}^{-1}$ cuatro veces más que las halladas en el río Pastos Chicos, y concentraciones de AsT en cultivos de tubérculos de $0,17$ a $0,47 \text{ mg.kg}^{-1}$, tres veces más las concentraciones máximas encontradas en este estudio, además de que supera el límite máximo permitido por el C.A.A. Esto resalta la grave contaminación de arsénico en ese país, que contrasta con la situación en América Latina y otras regiones del mundo. También podemos citar estudios realizados en otros vegetales, los cuales mostraron variaciones significativas en la absorción de arsénico. Yañez *et al.*, (2018) encontraron que las acelgas (*Beta vulgaris* variedad cicla y variedad d'ampuis) cultivadas en suelos y aguas con altas concentraciones de AsT acumulaban más arsénico en las raíces ($257,67 \text{ mg.kg}^{-1}$) que en las hojas ($8,21 \text{ mg.kg}^{-1}$). El arroz también ha sido objeto de estudio, Lepori *et al.*, (2015) encontró concentraciones de AsT entre $0,451$ a $0,690 \text{ mg.kg}^{-1}$. Así mismo, Blanco *et al.*, (2019) observaron que tomates y perejil regados con agua que contenía $0,24 \text{ mg/L}$ de AsT acumularon arsénico en los frutos y hojas, superando los límites establecidos por el CAA, lo que evidencia la absorción del arsénico en la parte comestible de la planta.

CONCLUSIÓN

Los resultados permiten dilucidar que el cultivo de papa andina no absorbe grandes cantidades de arsénico en el tubérculo comestible, cuando la fuente de exposición es el agua de riego. Las 3 variedades de papa andina cumplieron con el límite establecido por el Código alimentario Argentino requerida para tubérculos de $0,20 \text{ mg/kg As total}$. Los resultados obtenidos muestran que el cultivo de papa andina en invernadero con suelos libres de As, regadas con aguas arsenicales, es una opción de cultivo en la zona endémica porque existe un bajo riesgo de intoxicaciones y de padecer cáncer por exposición crónica de As. Es posible que el As se acumule en otra parte de la planta, o que los componentes propios de la papa andina (antioxidantes) ayudan a contrarrestar el efecto tóxico del As, evitando su ingreso a la planta quedando posiblemente retenida una parte en el suelo y/o en otro órgano de la planta, por tal motivo debe seguir siendo estudiado.

Los resultados de esta investigación sugieren que la absorción de arsénico en las papas andinas no implica un riesgo toxicológico significativo para los consumidores en las variedades estudiadas, aunque es crucial continuar evaluando otras variedades cultivadas en la región, además de investigar la translocación del arsénico a otros órganos de la planta como hojas, tallos y raíces, y así obtener una imagen más completa de la bioacumulación de arsénico.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcalde J. A. (2005). Informe Final: Sub-Proyecto Comunitario “Estudio y Diagnóstico de Aguas subterráneas, Ríos y Vertientes del Departamento de Susques, Provincia de Jujuy” Expte. 50047-2005. 13 - 14.
- Basu, A., Saha, D., Saha, R., Ghosh, T., Saha, B. (2014). A review on sources, toxicity and remediation technologies for removing arsenic from drinking water. *Res. Chem. Intermed.* 40: 447-485.
- Blanco, M. del C., Esposito, M., Amiotti, N., Díaz, S., Ribet, D. & Nicolli, H. (2019). “Variabilidad de los niveles de As de los acuíferos freático y termal profundo en el espacio geográfico de la región Pampeana meridional (Argentina)”. *Cuadernos Geográficos*, 58(1), 27- 46.
- Bundschuh, J., Litter, M., Parvez, F., Román-Ross, G., Nicolli, H., Jean, JS. Toujaguez, R. (2012). One century of arsenic exposure in Latin América: A review of history and occurrence from 14 countries. *Science of The Total Environment*. 429:2-35.
- Campos, V.C., Valenzuela, M., Alcorta, G., Escalante, E. & Mondaca. M.(2007). Isolation of Arsenic resistance bacteria from volcanic rocks of QuebradaCamarones, Parina Region, Chile. *Gayana* 71: 150-155.
- Emsley, J. (2001). *Nature's building blocks: An A-Z guide to the elements*. Oxford University Press. New York, NY, USA.
- EPA (Environmental Protection Agency). (2006). Edition of the drinking water standards and health advisories. EnvironmentalProtection Agency (EPA/822-R-06-013). Washington, DC, USA.
- Escalera, A., Choque, D., Espada, P., Alustiza, M., Peñaloza Reynaga, J., Castro, C., Ávila Carreras (2021) “Absorción de papas andinas cultivada en invernadero con suelos libres de arsénico y regadas con aguas arsenicales de una zona arsénico endémica de la provincia de Jujuy”. *Revista toxicológica Argentina*. ISSN 01851-3743. Asociación Toxicológica Argentina. Buenos Aires. Argentina. 29 suplemento septiembre 2021. 41- 42.
- FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. (2022). Versión resumida de El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Adaptación de las políticas alimentarias y agrícolas para hacer las dietas saludables más asequibles. Roma, FAO.
- Flanagan, Johnston, Zheng, R.B. (2012). Y Arsenic in tube well water in Bangladesh: health and economic impacts and implications for arsenic mitigation. *Bull. World Health Organ.* 90, 839–846. doi:10.2471/blt.11.101253.
- Friedman, M. (1997). Chemistry, biochemistry, and dietary role of potato polyphenols. A review. *Journal of Agricultural and FoodChemistry*. 45(5), 1523–1540.
- Gillispie, E.C., Sowers, T.D., Duckworth, O.W & Polizzotto, M.L. (2015) .Soil pollution due to irrigation with arsenic-contaminated groundwater: Current state of science. *Curr. Pollut. Rep.* 1: 1-12
- IARC (2012).Capítulo: Arsenic and arsenic compounds. A review of human carcinogens: Arsenic, Metals, Fibres and Dusts. International Agency for Research on Cancer. 100C, 41-93.
- Islam, S., Mohammad Mahmudur R., Islam, MR., Naidu, R., Geographical variation and age-related dietary exposure to arsenic in rice from Bangladesh, *Science of The Total Environment*, Volumes 601–602, 2017, Pag. 122-131, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.184>.

- Jackson R., Grainge J.W. (1975) Arsenic and cancer. *Can Med Assoc J.* 113 (5):396–401.
- Kumaresan, M. &Riyazuddin, P. (2001). Overview of speciation chemistry of arsenic. *Curr. Sci.* 80: 837-846.
- Lepori, E.C.V. (2015). Hidroarsenicismo crónico regional endémico en Argentina. *Acta Bioquímica Clínica Latinoam;* 49(1): 83–104).
- Liu, J., Waalkes, M.P. (2008) Liver is a target of arsenic carcinogenesis. *Toxicol Sci.*;105(1):24-32.
- Longoni, A., Gonzales de Prada, M. &SanchezPatzy, R. (2011). Los cultivos andinos en la Quebrada de Huamahuaca y Valles de altura. En: *Mapa de desarrollo de Jujuy: Economía y finanzas públicas.* Roisinblit D (Ed.): 419-446.
- Macur, R., Jackson C., Botero, L., McDermott, T., & Inskeep, W. (2004). Bacterial populations associated with the oxidation and reduction of arsenic in an unsaturated soil. *Environ. Sci. Technol.* 38: 104-111.
- Mandal, B. K. & K. T. Suzuki. (2002). Arsenic round the world: A review. *Talanta* 58: 201-235.
- Matschullat, J.,Birmann, K., Borba, R.P., Ciminelli, V., Deschamps, BR., Figueiredo, EM., Gabrio, T., Haßler, S., Hilscher, A., Junghänel, I., N de Oliveira, Raßbach, K., Schmidt, H., Schwenk, M., De Oliveira, MJ., Vilhena, U. Weidner, Long-term environmental impact of arsenic-dispersion in Minas Gerais, Brazil, *Trace Metals and other Contaminants in the Environment*, Elsevier, Volume 9, 2007, Pag. 365-382, ISSN 1875-1121, ISBN 9780444518200, [https://doi.org/10.1016/S1875-1121\(06\)09014-6](https://doi.org/10.1016/S1875-1121(06)09014-6).
- Mukhopadhyay, R., Rosen, B., Phung, L., & .Silver, S. (2002). Microbial arsenic: from geocycles to genes and enzymes. *FEMS Microbiol. Rev.* 26: 311-325.
- Muñoz, Díaz O.P., Leyton I., Nuñez N., Devesa V., Suner M.A. (2002). Vegetables collected in the cultivated Andean area of northern Chile: total and inorganic arsenic contents in raw vegetables. *J Agric Food Chem;*50:642-7.
- Navarre, D.A., Brown, C.R. &Sathuvalli, V.R. (2019). Potato Vitamins, Minerals and Phytonutrients from a Plant Biology Perspective. *Am. J. Potato Res.* 96, 111-126.
- Navoni, J.A., Olivera, N.M., Villaamil Lepori, E.C. (2009) Optimización y Validación Metodológica de la Cuantificación de Arsénico por Inyección en flujo-generación de hidruros – Espectrometría de Absorción Atómica (IF-GH-EAA); *Acta Toxicológica Argentina*, Vol. 17 (2): 45 -54.
- Niedzwiecki, M.M., Hall, M.N., Liu, X., Oka, J., Harper, K.N., Slavkovich V., Ilievski V., Levy D., Van Geen, A., Mey, J.L., Alam, S., Siddique, A.B., Parvez, F., Graziano, J.H., Gamble M.V. (2013) A doseresponsestudy of arsenicexposure and global methylation of peripheralblood mononuclear cell DNA in Bangladeshiadults. *Environ Health Perspect.*;121(11-12):1306-12.
- Niedzwiecki, M.M., Hall, M.N., Liu, X., Slavkovich, V., Ilievski, V., Levy, D. ...Gamble, M.V. (2014) Interaction of plasma glutathione redox and folate deficiency on arsenic methylation capacity in Bangladeshi adults. *Free Radic Biol Med.*; 73:67-74
- Olmos, V., Ridolfi, A. (2018). Hidroarsenicismo: mecanismos de acción asociados a la toxicidad del arsénico. *Acta toxicológica argentina*, 26(1), 32-44. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-37432018000100004&lng=es&tlang=es
- Oremland, R. S. & Stolz, J.M. (2003). The ecology of arsenic. *Science* 300: 939-944.

Resolución Conjunta 34/2019. SECRETARÍA DE REGULACIÓN Y GESTIÓN SANITARIA Y SECRETARÍA DE ALIMENTOS Y BIOECONOMÍA. Disponible en: <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/222045/20191127>

Rey de Sastre, M.S., Varillas, A., Kirschbaum, P. (1987) Estudio cuantitativo de arsénico en las aguas de la provincia de Jujuy. Universidad de Salta; 54 p. Mapas, tablas.

Ribet, D., & Espósito, M. E. (2016). *Evaluación de los efectos de riego con aguas que contienen diferentes concentraciones de As sobre la bioacumulación en hortalizas*.

Ruggeri, M.A., Zubia, G.F., Romero, A.E., Ávila Carreras, N.M.E., Tschambler, J.A., Bovi Mitre, M.G. (2009). Georreferenciamiento: una herramienta utilizada para analizar y diagnosticar sitios contaminados en la provincia de Jujuy- Argentina. Revista de Toxicología. Asociación Española de Toxicología Pamplona, España. 26, 2-3: 131-136.

Santini, J.M., Sly, L.I., Schnagl, R.D. & Macy, J.M. (2000). A new chemolitho autotrophic arsenite-oxidizing bacterium isolated from a gold mine: Phylogenetic, physiological, and preliminary biochemical studies. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 92-97. 1-8.

Sarkar, A., Kazy, S.K., & Sar, P. (2013). Characterization of arsenic resistant bacteria from arsenic rich groundwater of West Bengal, India. *Ecotoxicology* 22: 363-376.

Suarez, S. I., & Carrizo, E. N. (2014). Papas Andinas. Recetas y Relatos de mi tierra. Proyecto de Divulgación, Científico Tecnológico. CONICET. Resolución 4575/12. Tesoros de la Agrodiversidad Andina: Las papas Nativas y su valor para la Humanidad como un alimento funcional 1ra ed. Mar del Plata. Universidad Nacional de Mar del Plata. 99. ISBN 978-987-544-566-0.

Tsai, S. L., Singh S., & Chen, W. (2009). Arsenic metabolism by microbes in nature and the impact on arsenic remediation. *Curr. Opin. Biotechnol.* 20: 659-667.

Tschambler, J., Cabrera, R., Bovi-Mitre, G. (2007), "Georreferenciamiento del contenido de Arsénico en aguas de la Provincia de Jujuy-Argentina", XV Congreso Argentino de Toxicología, 26 al 28 de septiembre, Neuquén 2007. 15, suplemento septiembre 2007: 48-49.

Valenzuela, C., Campos, V., Yañez J., Zarror, C. & Mondaca, M. (2009). Isolation of arsenite-oxidizing bacteria from arsenic-enriched sediments from Camarones River, Northern Chile. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 82: 593-596.

WHO/OMS.(2022). Fourth Edition. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda

Yañez, L.M., Alfaro, J. A., BoviMitre, G. (2018). Absorption of arsenic from soil and water by two chard (*Beta vulgaris* L.) varieties: A potential risk to human health. *Journal of Environmental Management*. 218, 23-30.

TRABAJO

CARACTERIZACIÓN BIOINFORMÁTICA DE GENES CODIFICANTES DE PROTEÍNAS ASOCIADAS A DEGRADACIÓN DE CLORPIRIFOS EN *Trichoderma spp.* AISLADAS DE SUELOS DE LA QUEBRADA DE HUMAHUACA

BIOINFORMATIC CHARACTERIZATION OF GENES ENCODING PROTEINS ASSOCIATED WITH CHLORPYRIFOS DEGRADATION IN *Trichoderma spp.* ISOLATED FROM SOILS OF THE QUEBRADA DE HUMAHUACA

Gómez, N. ¹, Romero, A. E. ¹, Hernández, N. E. ^{1,2,3*}, Maldonado, J. ^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Agrarias. UNJu; ² Instituto de Estudios Celulares, Genéticos y Moleculares (ICeGeM), UNJu; ³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

*Autor para correspondencia:
nancy.hernandez@fca.unju.edu.ar

Período de Publicación:
Julio 2025

Historial:
Recibido: 28/12/24
Aceptado: 03/06/25

RESUMEN

El presente estudio se enfocó en la caracterización bioinformática de genes asociados a la degradación del plaguicida clorpirifós en cepas del género *Trichoderma* aisladas de suelos de la Quebrada de Humahuaca. Mediante herramientas moleculares y bioinformáticas, se analizaron las secuencias nucleotídicas obtenidas a partir de ADN extraído de las cepas *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma asperelloides*. Los resultados evidenciaron la presencia de genes asociados a la degradación de clorpirifós. El análisis filogenético permitió identificar una alta homología con secuencias de proteínas hipotéticas de *Trichoderma harzianum*. Estos hallazgos destacan el potencial biotecnológico de *Trichoderma spp.* para aplicaciones en biorremediación ambiental.

Palabras clave: Bioinformática, clorpirifos, *Trichoderma*, degradación

SUMMARY

This study focused on the bioinformatic characterization of genes associated with the degradation of the chlorpyrifos pesticide in the genus *Trichoderma* strains isolated from soils in the Quebrada de Humahuaca. Using molecular and bioinformatic tools, nucleotide sequences obtained from DNA extracted from *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma asperelloides* strains were analyzed. The results showed the presence of genes associated with chlorpyrifos degradation. Phylogenetic analysis allowed the identification of a high homology with hypothetical protein sequences of *Trichoderma harzianum*. These findings highlight the biotechnological potential of *Trichoderma spp.* for applications in environmental bioremediation.

Keywords: Bioinformatics, chlorpyrifos, *Trichoderma*, degradation

INTRODUCCIÓN

El clorpirifos es un plaguicida organofosforado de amplio espectro extensamente utilizado en contextos agrícolas e industriales, que se emplea en cultivos como frutas, hortalizas, granos, nueces, así como en el manejo de ganado, plantas ornamentales, campos de golf y tratamientos de madera (Watts, 2012). Su denominación según la IUPAC es O,O-dietil O-3,5,6-tricloro-piridil-2-il fosforotioato, y su disposición estructural es responsable de su función como insecticida y de sus propiedades fisicoquímicas, entre las que destacan su baja solubilidad en agua y su alta afinidad por sedimentos y materia orgánica (Figura 1) (Watts, 2012). Comercialmente, se distribuye bajo nombres como Lorsban, Dursban, Suscon Green, Empire y Equity, siendo uno de los insecticidas más utilizados a nivel mundial, con propiedades que incluyen una elevada persistencia ambiental, capacidad de bioacumulación y toxicidad significativa para humanos y otros organismos no plagas. Estas características han llevado a su clasificación como posible contaminante orgánico persistente (COP), de acuerdo con los criterios establecidos por la Convención de Estocolmo (Watts, 2012).

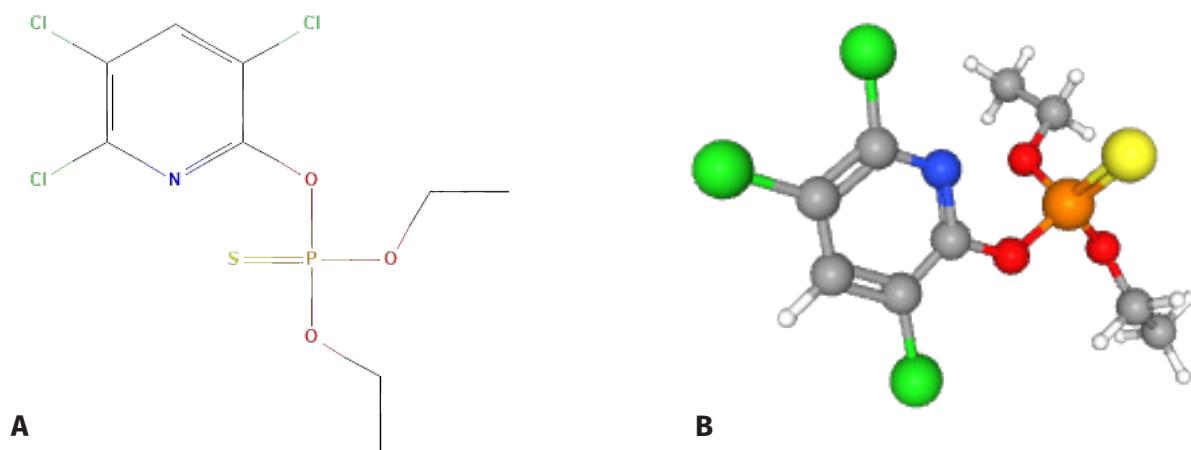


Figura 1: Representación estructural 2D (A) y conformación 3D (B) del clorpirifós. La molécula presenta un anillo piridínico con tres átomos de cloro en las posiciones 3, 5 y 6, unido a un grupo fosforotioato. (Watts, 2012); National Center for Biotechnology Information (2024).

El clorpirifos actúa inhibiendo irreversiblemente la enzima acetilcolinesterasa (AChE), lo que genera una acumulación excesiva de acetilcolina en las sinapsis y provoca la sobreestimulación de receptores nicotínicos y muscarínicos en el sistema nervioso central y periférico (Figura 2). Esta sustancia representa un riesgo significativo para la salud humana debido a sus efectos adversos, tanto agudos como crónicos. Los efectos agudos incluyen síntomas como náuseas, vómitos, diarrea, debilidad muscular y dificultad respiratoria, pudiendo ser letales en casos extremos (cita). La exposición crónica a bajas dosis se ha asociado con alteraciones neurológicas, disfunción cognitiva, trastornos del comportamiento y un mayor riesgo de desarrollar enfermedades graves como cáncer y problemas endocrinos (Cita). Además, se han reportado afecciones relacionadas que incluyen obesidad, diabetes, síndrome metabólico, alteraciones del microbioma, trastornos del neurodesarrollo y enfermedades neurodegenerativas; por lo que se sospecha de otros blancos moleculares que podría estar afectando también además de la inhibición de la AChE (Eaton *et al.*, 2008; Eddleston *et al.*, 2008; Watts, 2012; Ventura *et al.*, 2016; Burke *et al.*, 2017; Liang *et al.*, 2019; von Ehrenstein *et al.*, 2019).

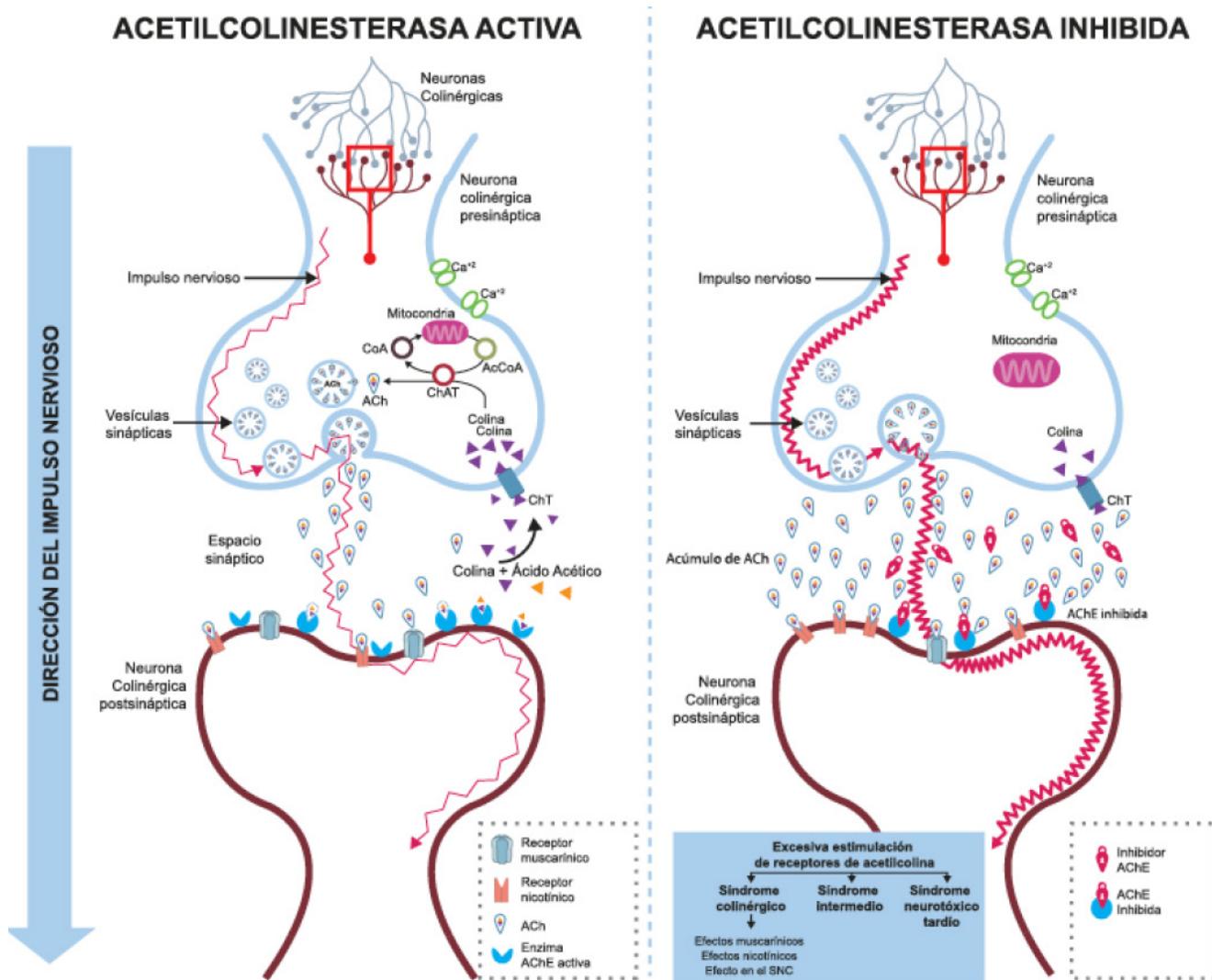


Figura 2: Mecanismo de acción e inhibición de la acetilcolinesterasa. Caro-Gamboa, et al., (2020).

Este compuesto organofosforado presenta propiedades fisicoquímicas que le otorgan un elevado potencial de transporte, permitiéndole desplazarse largas distancias desde las áreas donde ha sido aplicado. Como ha sido señalado por Watts (2012), esta sustancia se encuentra de manera sistemática en ecosistemas tan distantes como el Ártico, donde su presencia ha sido detectada en aire, hielo, nieve, sedimentos y organismos vivos, con registros tan antiguos como 1971. Este comportamiento confirma su capacidad para acumularse en entornos remotos y cumplir con los criterios de transporte a largas distancias establecidos por la Convención de Estocolmo (Watts, 2012). La dispersión transfronteriza de residuos de clorpirifós ha sido documentada en regiones alejadas de las áreas de producción agrícola, afectando tanto fuentes naturales como productos de origen vegetal y animal; como es el caso de Dinamarca y varios estados de la Unión Europea, donde a pesar de la prohibición de su uso aproximadamente un 33% de los cítricos importados desde Asia y otras regiones de la UE aún contienen residuos de este compuesto (Foong et al., 2020). Este fenómeno pone de manifiesto la insuficiencia de las prohibiciones aisladas, incluso en países desarrollados, para controlar la propagación global del clorpirifós. Esta limitación se explica por el hecho de que países en desarrollo, como India y China, mantienen su uso debido a su bajo costo y alta efectividad en el control de plagas (Foong et al., 2020). En este contexto, Watts (2012) subrayan la necesidad de tomar medidas internacionales coordinadas para mitigar los riesgos ambientales asociados al clorpirifós.

Dentro de estas medidas, la biorremediación se presenta como una opción prometedora, siendo una tecnología ambiental que utiliza la capacidad natural de los organismos vivos o sus productos para reducir, eliminar o transformar compuestos tóxicos en sustancias inocuas o menos contaminantes (Garbisu & Alkorta, 2001). La biorremediación se caracteriza por el empleo de diversos organismos, seleccionados por su capacidad para degradar compuestos tóxicos en el ambiente. Las bacterias y los hongos son especialmente relevantes debido a su versatilidad metabólica y adaptación a diversas condiciones ambientales. Al elegir microorganismos degradadores para aplicaciones biotecnológicas, se considera que la selección de organismos autóctonos es preferible para evitar impactos negativos en la microflora nativa (Rico & Pola, 2018). En los sistemas de biorremediación se emplean tanto microorganismos como sus enzimas de forma directa (Theriot & Grundon, 2011). Incluso, se trabaja en la utilización de microorganismos y/o enzimas modificadas para entornos complejos, ampliando las posibilidades de esta tecnología (Ronda *et al.*, 2019; Xu *et al.*, 2021). Dentro de los microorganismos estudiados, las bacterias han sido ampliamente investigadas debido a su capacidad degradativa, destacándose por la producción de fosfotriesterasas (PTE) y las organofosforohidrolasas (OPH), las cuales han sido identificadas como altamente eficaces en la degradación de una variedad de compuestos organofosforados. Estas enzimas, codificadas por los genes *opd* y *mpd*, se han aislado de bacterias como *Flavobacterium* sp., *Pseudomonas diminuta* y *Agrobacterium radiobacter* (Sun *et al.*, 2019). Mientras que los hongos, aunque fundamentales en los procesos de degradación natural, han sido menos estudiados en comparación con las bacterias. Druzhinina *et al.*, (2018) subrayan la necesidad de estudiar hongos del género *Trichoderma*, por ser ampliamente reconocidos debido a su capacidad única para descomponer compuestos orgánicos, derivada en gran medida de la transferencia lateral de genes.

En estudios llevados a cabo por Sun *et al.*, 2020 se han reportado genes claves involucrados en la tolerancia y degradación de compuestos organofosforados en *Trichoderma atroviride*, los cuales destacan por su relevancia en procesos de bioremediación. El gen *hex1* ha sido descrito como fundamental para regular la tolerancia al estrés inducido por pesticidas, particularmente los diclorvos. Este gen participa en la síntesis de ergosterol en la membrana celular y en la formación de cuerpos de "Woronin", lo que disminuye la extravasación de electrolitos durante condiciones de estrés químico. Además, *hex1* modula la expresión de transportadores ABC, enzimas como el citocromo P450 y la glutatión-S-transferasa, contribuyendo así a la detoxificación y degradación del pesticida. En el mismo estudio, el gen *tapdr2* ha sido descrito como codificador de un transportador ABC, desempeñando un papel esencial en la resistencia a los diclorvos. Se ha demostrado que su eliminación reduce significativamente la tolerancia al compuesto, evidenciando su importancia en los mecanismos de defensa celular. Por último, Sun *et al.* (2020), destacan que el gen *tapon1-like*, que codifica la enzima TaPon 1-like, ha sido identificada como responsable de la hidrólisis inicial de enlaces P-O en compuestos organofosforados, siendo crucial para su degradación. La eliminación del gen *tapon1-like* en cepas knockout ha demostrado una reducción significativa en la eficiencia de degradación de diclorvos, lo que confirma su función crítica en el proceso bioquímico de degradación (Sun *et al.*, 2020). Además, estudios de expresión en *Escherichia coli* han permitido la purificación de la proteína recombinante reTaPon1-like, la cual ha mostrado actividad en la degradación de múltiples sustratos, incluidos los compuestos organofosforados (Sun *et al.*, 2020). Este gen muestra también similitudes estructurales importantes con el gen que codifica para la paraoxonasa humana (*HuPON1*), particularmente en su dominio de propela de seis aspas β y los sitios de unión al calcio, esenciales para su actividad catalítica. En estudios de comparación de secuencias, *tapon1-like* ha mostrado una homología con *HuPON1*, lo que respalda la hipótesis de que existe una evolución funcional convergente entre las paraoxonasas de *Trichoderma* y las de otros organismos, como los mamíferos, hallazgos que subrayan el potencial de *Trichoderma* en aplicaciones biotecnológicas para la remediación ambiental de pesticidas organofosforados (Sun *et al.*, 2020).

En la provincia de Jujuy, se han llevado a cabo estudios de caracterización de cepas de hongos del género *Trichoderma* aisladas de suelos de la Quebrada de Humahuaca. Dichas cepas se han identificado como *Trichoderma asperelloides* y *Trichoderma harzianum* (Álvarez, Benítez Ahrendts & Yasem de Romero, 2023). Por lo tanto, en base a los antecedentes descritos se propone como hipótesis de trabajo que el ADN de los hongos del género *Trichoderma* aislados de suelos de la Quebrada de Humahuaca contiene genes

codificantes de proteínas implicadas en la degradación de clorpirifós.

Objetivos de la Investigación: Identificar y caracterizar genes codificantes de proteínas degradadoras de clorpirifós, a partir de ADN de hongos del género *Trichoderma*, aislados de suelos de la Quebrada de Humahuaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ADN genómico utilizado pertenece a cepas del género *Trichoderma*, suministradas por la Cátedra de Fitopatología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Jujuy. La cepa 70 corresponde a *Trichoderma harzianum*, y la cepa 76, a *Trichoderma asperelloides*. La extracción de ADN fue realizada empleando el kit EasyPure Genomic DNA conforme al protocolo del fabricante.

Diseño y síntesis de cebadores

El diseño de cebadores específicos se realizó utilizando el servicio *Primer-BLAST*, a partir de las secuencias nucleotídicas del gen *tapon1-like*, obtenidas mediante la herramienta BLAST. En este proceso se consideraron parámetros esenciales como la longitud de los cebadores, la temperatura de fusión (Tm) y la ausencia de autocomplementariedad. Los cebadores seleccionados, *forward* y *reverse*, poseen 20 nucleótidos de longitud, característica clave para garantizar estabilidad y eficiencia en la amplificación. Las temperaturas de fusión determinadas para ambos cebadores se aproximan a 60°C. Los cebadores diseñados fueron:

- **Forward:** 5'-ACAACTCGTATGTGCAGCGA-3'

- **Reverse:** 5'-TGCAGCACCTTCTCCTTCT-3'

La optimización de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR: *Polymerase Chain Reaction*) incluyó el cálculo de las temperaturas de fusión o *melting* (Tm) utilizando la fórmula:

$$Tm = 4 \times (G + C) + 2 \times (A + T)$$

Donde:

G, C, A y T representan la cantidad de bases nitrogenadas Guanina, Citosina, Adenina y Timina en cada cebador.

La temperatura de *annealing* o hibridación (Ta) fue determinada mediante la ecuación:

$$Ta = \left(\frac{T_{mf} + T_{mR}}{2} \right) - 5$$

Donde:

T_{mf}: Temperatura de fusión del cebador *forward*

T_{mR}: Temperatura de fusión del cebador *reverse*

Reacción en cadena de la polimerasa (PCR)

La mezcla reactiva (*Master Mix*) contiene ADN genómico de *Trichoderma* spp., cebadores (*forward* y *reverse*), nucleótidos libres, solución buffer y la enzima *Taq* polimerasa. La temperatura de *melting* se estableció en 60°C, mientras que la temperatura de *annealing* se calculó en 55°C, conforme a las

recomendaciones del NCBI y los cálculos realizados. La mezcla fue sometida a un ciclado térmico que incluyó fases de desnaturalización, alineamiento y extensión, repetidas en 35 ciclos para amplificar el ADN objetivo.

Evaluación y secuenciación de amplicones

Los amplicones generados fueron evaluados mediante electroforesis en gel de agarosa al 1% (p/v), lo que permitió estimar su tamaño y pureza. Los productos amplificados se enviaron a MacroGen para su secuenciación, utilizando la tecnología Applied Biosystems modelo 3730XL.

Edición y análisis de secuencias

Las secuencias nucleotídicas obtenidas fueron editadas con el software *Chromas*, eliminando posiciones terminales. Posteriormente, se realizó un análisis filogenético mediante BLAST, utilizando el algoritmo *neighbor-joining* con 1.000 réplicas de *bootstrap*. La secuencia está siendo procesada para su depósito en el Archivo Europeo de Nucleótidos (ENA, *European Nucleotide Archive*), garantizando su accesibilidad para futuras investigaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Amplificación de genes implicados en la degradación de clorpirifós

Se realizó la PCR para amplificar posibles genes codificantes de proteínas degradadoras de clorpirifós en las muestras de ADN obtenidas de cepas del género *Trichoderma* aisladas de suelos de la Quebrada de Humahuaca. Los productos de PCR fueron analizados mediante electroforesis en gel de agarosa al 1% (p/v) y teñidos con el intercalante *Diamond™ Nucleic Acid Dye* para su visualización bajo luz ultravioleta en transiluminador (Figura 3). Los resultados indicaron que las cepas 70 y 76 presentaron una amplificación clara de fragmentos con un tamaño entre 1.500 y 2.000 pares de bases.

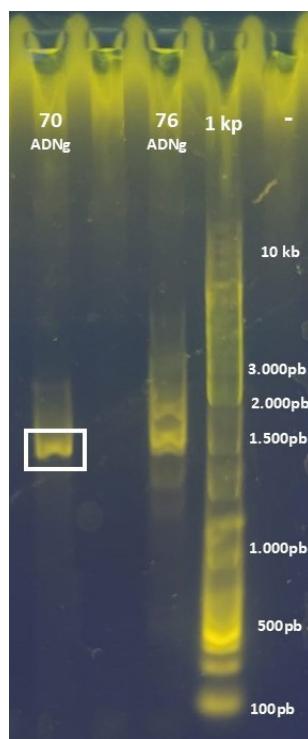


Figura 3: Gel de agarosa al 1%. Productos de PCR a partir de ADN genómico (ADNg). de las cepas 70 (*T. harzianum*) y 76 (*T. asperelloides*).

2. Edición de la secuencia de nucleótidos obtenida

A partir de las secuencias *Forward* y *Reverse* de nucleótidos obtenidas de la secuenciación, se ha llevado a cabo la edición mediante el software *Chromas* (Figura 4). Por motivos de calidad de las secuencias, se ha decidido trabajar únicamente, en los análisis posteriores, con la Secuencia Nucleotídica *Forward* editada de la cepa 70 (SN-F.edit/700), la cual tiene una longitud de 1.057 pb.

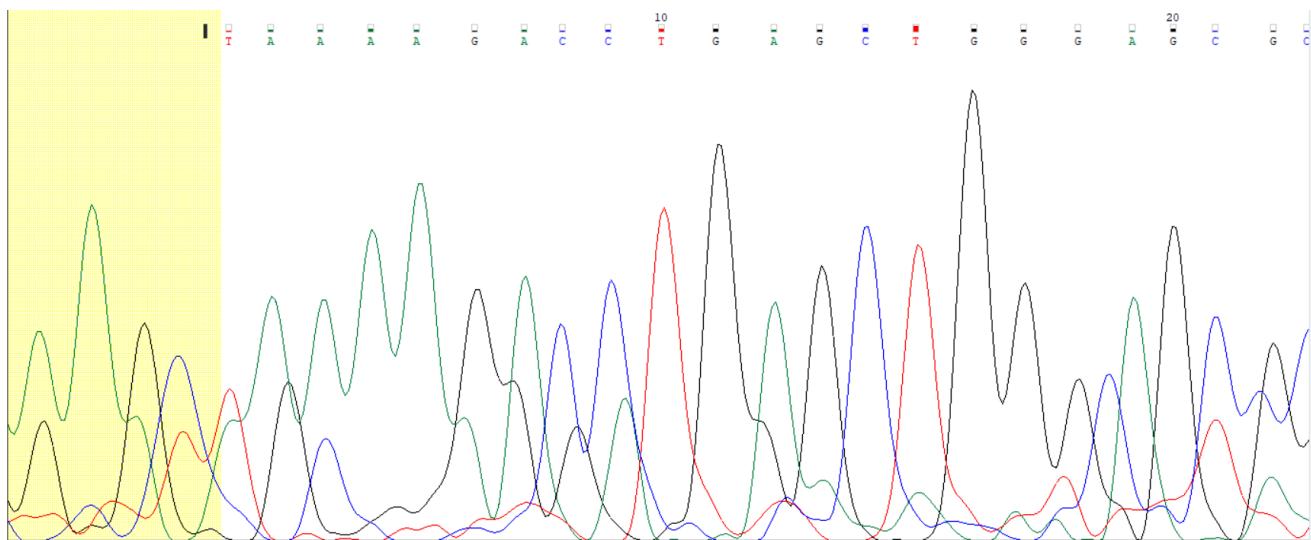


Figura 4: Cromatograma. Sección editada en Chromas de la secuencia nucleotídica *Forward* del amplicón de la cepa 70.

3. Comparación y análisis de la secuencia SN-F.edit/70

La comparación de la SN-F.edit/70 mediante BLAST permitió identificar tres alineamientos con valores significativos en similitud y cobertura en *GenBank* (Figura 5). El alto porcentaje de identidad observado en los alineamientos sugiere una posible función conservada entre estas proteínas. Además, los valores de E obtenidos (0.0 ; 2×10^{-128} y 2×10^{-108}) fueron extremadamente pequeños, indicando alta confiabilidad en los resultados y reforzando la fiabilidad de las coincidencias en las tres secuencias analizadas.

El alineamiento con mayor coincidencia se obtuvo con una secuencia nucleotídica que codifica para una proteína hipotética de *Trichoderma harzianum* CBS 226.95, caracterizado por un 75% de cobertura y un 94.69% de identidad, lo que indicó un alto grado de homología. El valor máximo de puntuación (*Max Score*) alcanzó 1164, lo que valida esta secuencia como la más confiable, permitiendo inferir similitudes estructurales y funcionales (Altschul *et al.*, 1990). En contraste, el alineamiento con una proteína no caracterizada de *Trichoderma breve* presentó un 30% de cobertura y un 95.03% de identidad. Aunque el porcentaje de identidad fue alto, la menor cobertura y un Total Score de 473 sugirieron una coincidencia global menos significativa, posiblemente atribuible a la longitud de la secuencia o a regiones conservadas más cortas (Altschul *et al.*, 1990). Finalmente, se encontró un alineamiento con una proteína no caracterizada de *Trichoderma aggressivum f. europaeum*, que mostró un 30% de cobertura y un 91.06% de identidad.

Sequences producing significant alignments									Download	Select columns	Show	100	?
									GenBank	Graphics	Distance tree of results	MSA Viewer	
	Description	Scientific Name	Max Score	Total Score	Query Cover	E value	Per. Ident	Acc. Len	Accession				
<input checked="" type="checkbox"/>	Trichoderma harzianum CBS 226.95 hypothetical protein (M431DRAFT_503877).mRNA	Trichoderma...	1164	1164	75%	0.0	94.69%	1486	XM_024918371.1				
<input checked="" type="checkbox"/>	Trichoderma breve uncharacterized protein (T069G_05890).partial mRNA	Trichoderma...	473	473	30%	2e-128	95.03%	783	XM_056173100.1				
<input checked="" type="checkbox"/>	Trichoderma aggressivum f. europaeum uncharacterized protein (Triagg1_10452).partial mRNA	Trichoderma...	407	407	30%	2e-108	91.06%	780	XM_062894525.1				

Figura 4: Alineamiento en BLAST de SN-F.edit/70 con proteínas hipotéticas y/o no caracterizadas de *Trichoderma* spp.

4. Construcción del árbol filogenético

En base al análisis anterior se construyó un árbol filogenético mediante BLAST para analizar la relación entre la SN-F.edit/70 y las tres secuencias nucleótidos que codifican para proteínas no caracterizadas o hipotéticas de *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma breve* y *Trichoderma aggressivum f. europaeum* (Figura 5). Los resultados son consistentes con la interpretación que señala una relación más cercana entre la SN-F.edit/70 y una secuencia nucleotídica de la cepa CBS 226.95 de *T. harzianum*, que codifica para una proteína hipotética (*M431DRAFT_503877*).

Para garantizar la robustez filogenética del árbol construido, se estableció un umbral máximo de divergencia nucleotídica entre las secuencias de 0,75. Este parámetro define la fracción máxima de sitios en los que dos secuencias presentan bases distintas en la región alineada. Aquellas parejas de secuencias que superan este umbral son excluidas del análisis filogenético, con el fin de evitar la inclusión de secuencias evolutivamente demasiado distantes. Es importante destacar que la distancia evolutiva entre secuencias, estimada a partir de la matriz de distancias, asume una relación lineal entre la proporción de sitios distintos y el número de sustituciones nucleotídicas por sitio. Sin embargo, esta relación se debilita a medida que aumenta la divergencia secuencial. Por consiguiente, para valores superiores a 0,5 en el parámetro de divergencia máxima, aunque la agrupación de secuencias sea generalmente confiable, las longitudes de las ramas internas pueden subestimar la distancia evolutiva real entre secuencias muy divergentes (NCBI, 2024).

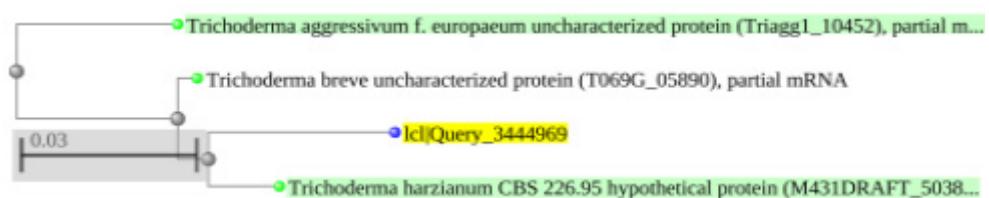


Figura 5: Dendrograma de secuencias nucleotídicas de *Trichoderma* spp. En amarillo la secuencia Query SN-F.edit/70 muestra su posición relativa en el árbol filogenético. Un valor de distancia de 0.03 sugiere que los organismos representados por los clados separados por esa distancia están relativamente cercanos evolutivamente.

CONCLUSIÓN

A través de análisis bioinformáticos se confirmó la presencia de genes codificantes de proteínas implicadas en la degradación de clorpirifós en cepas del género *Trichoderma* aisladas de suelos de la Quebrada de Humahuaca. Además, la construcción del árbol filogenético permitió la identificación de secuencias nucleotídicas evolutivamente cercanas.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, S., Benítez-Ahrendts, M., & Yasem de Romero, M. (2023). Caracterización de cepas de *Trichoderma* aisladas de suelos de Jujuy-Argentina. *Revista Agraria de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 16(2), 36-50.
- Altschul, S. F., Gish, W., Miller, W., Myers, E. W., & Lipman, D. J. (1990). Basic local alignment search tool. *Journal of Molecular Biology*, 215(3), 403-410.
- [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(05\)80360-2](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(05)80360-2)
- Rico, B. & Pola, L. (2018). *Biodegradación microbiana de carbofurano en suelos de cultivos de papa criolla Solanum phureja* [Trabajo de grado de maestría, Universidad de Pamplona]. Repositorio Hulago Universidad de Pamplona. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/2866>
- Burke, R. D., Todd, S. W., Lumsden, E., Mullins, R. J., Mamczarz, J., Fawcett, W. P., ... & Albuquerque, E. X. (2017). Developmental neurotoxicity of the organophosphorus insecticide chlorpyrifos: From clinical findings to preclinical models and potential mechanisms. *Journal of Neurochemistry*, 142, 162-177. <https://doi.org/10.1111/jnc.14077>
- Druzhinina, I. S., Chenthama, K., Zhang, J., Atanasova, L., Yang, D., Miao, Y., ... & Kubicek, C. P. (2018). Massive lateral transfer of genes encoding plant cell wall-degrading enzymes to the mycoparasitic fungus *Trichoderma* from its plant-associated hosts. *PLoS Genetics*, 14(4), e1007322. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1007322>
- Eaton, D. L., Daroff, R. B., Autrup, H., Bridges, J., Buffler, P., Costa, L. G., ... & Spencer, P. S. (2008). Review of the toxicology of chlorpyrifos with an emphasis on human exposure and neurodevelopment. *Critical Reviews in Toxicology*, 38(sup2), 1-125. <https://doi.org/10.1080/10408440802272158>
- Eddleston, M., Buckley, N. A., Eyer, P., & Dawson, A. H. (2008). Management of acute organophosphorus pesticide poisoning. *The Lancet*, 371(9612), 597-607. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)61202-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61202-1)
- Foong, S. Y., Ma, N. L., Lam, S. S., Peng, W., Low, F., Lee, B. H., ... & Sonne, C. (2020). A recent global review of hazardous chlorpyrifos pesticide in fruit and vegetables: Prevalence, remediation and actions needed. *Journal of hazardous materials*, 400, 123006.
- Garbisu, C., & Alkorta, I. (2001). Phytoextraction: A cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. *Bioresource Technology*, 77(3), 229-236. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00108-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00108-5)
- Liang, Y., Zhan, J., Liu, D., Luo, M., Han, J., Liu, X., ... & Wang, P. (2019). Organophosphorus pesticide chlorpyrifos intake promotes obesity and insulin resistance through impacting gut and gut microbiota. *Microbiome*, 7, 1-15. <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0635-4>
- National Center for Biotechnology Information (2024). PubChem Compound Summary for CID 2730, Chlorpyrifos. Retrieved November 15, 2024 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Chlorpyrifos>.
- Ronda, C., Chen, S. P., Cabral, V., Yaung, S. J., & Wang, H. H. (2019). Metagenomic engineering of the mammalian gut microbiome *in situ*. *Nature Methods*, 16(2), 167-170. <https://doi.org/10.1038/s41592-018-0301-y>

- Sun, J., Karuppiah, V., & Chen, J. (2020). The mechanism of heavy metal absorption and biodegradation of organophosphorus pesticides by *Trichoderma*. En *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering* (pp. 303-318). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819453-9.00014-3>
- Sun, J., Yuan, X., Li, Y., Wang, X., & Chen, J. (2019). The pathway of 2,2-dichlorovinyl dimethyl phosphate (DDVP) degradation by *Trichoderma atroviride* strain T23 and characterization of a paraoxonase-like enzyme. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 8947-8962. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10136-2>
- Theriot, C. M., & Grunden, A. M. (2011). Hydrolysis of organophosphorus compounds by microbial enzymes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 89, 35-43. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2807-9>
- Ventura, C., Nieto, M. R. R., Bourguignon, N., Lux-Lantos, V., Rodriguez, H., Cao, G., ... & Núñez, M. (2016). Pesticide chlorpyrifos acts as an endocrine disruptor in adult rats causing changes in mammary gland and hormonal balance. *The Journal of steroid biochemistry and molecular biology*, 156, 1-9.
- Von Ehrenstein, O. S., Ling, C., Cui, X., Cockburn, M., Park, A., Yu, F., ... & Ritz, B. (2019). Prenatal and infant exposure to ambient pesticides and autism spectrum disorder in children: Population-based case-control study. *BMJ*, 364, l962. <https://doi.org/10.1136/bmj.l962>
- Watts, M. (2012). Clorpirifos: Un posible COP a nivel global. *Pesticide Action Network Norteamérica (PANNA)*, 2-3.
- Xu, W., Zhao, S., Zhang, W., Wu, H., Guang, C., & Mu, W. (2021). Recent advances and future prospective of organophosphorus-degrading enzymes: Identification, modification, and application. *Critical Reviews in Biotechnology*, 41(7), 1096-1113. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1898331>

ANEXO

- NCBI. (s. f.). *BLAST tree view*. National Center for Biotechnology Information. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/blast/treeview>

TRABAJO

ECONOMÍA DE LA PRODUCCIÓN TABACALERA: EL CASO DE LA PROVINCIA DE JUJUY

ECONOMICS OF TOBACCO PRODUCTION: THE CASE OF JUJUY PROVINCE

Gallacher, M.^{1*} y Hansen, M.²

¹ Profesor de Economía y Organizaciones. Universidad del CEMA; ² Máster en Dirección de Empresas. Delegación Buenos Aires. Comercio Exterior. Cooperativa de Tabacaleros de Jujuy.

*Autor para correspondencia:
gmg@ucema.edu.ar

Período de Publicación:
Julio 2025

Historial:
Recibido: 05/02/25
Aceptado: 28/04/25

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es evaluar las perspectivas del cultivo del tabaco en la provincia de Jujuy. El trabajo presenta un análisis de los retornos marginales resultantes de diversos niveles de intensificación productiva en Jujuy. Se concluye que sin el aporte del FET el tabaco muestra alta eficiencia en el uso de la tierra, pero una relativamente baja eficiencia en el uso del capital. La última sección del trabajo analiza el cambiante patrón de concentración en la etapa de acopio y comercialización del producto. Se concluye que en la provincia de Jujuy el grado de concentración, o eventual poder de mercado, ha descendido, mientras que en la provincia de Salta se ha mantenido constante o ha aumentado levemente. No se encuentra una relación entre concentración de mercado y brecha entre precios FOB y los recibidos por el productor.

Palabras clave: producción de tabaco en Jujuy, eficiencia productiva, índice de Herfindahl

SUMMARY

The focus of this paper is to evaluate the tobacco crop perspectives in Jujuy province (Argentina). A first analysis of returns resulting from production intensification in Jujuy is presented. Marginal Productivity of the capital input is estimated. It is concluded that without the *Tobacco Special Fund* (FET acronym in Spanish) contributions, the tobacco crop shows high efficiency in land use but a relatively low efficiency in capital use. The last section of the paper analyzes the changing pattern of market concentration in the purchasing and marketing stages. It is concluded that in Jujuy province the concentration or eventual market power has fallen, whereas in the neighboring province of Salta it has remained unchanged or increased slightly. No relation is found between market concentration and price differential at the FOB and producer levels.

Keywords: herfindahl index, production efficiency, tobacco production in Jujuy

INTRODUCCIÓN

La creciente atención a los impactos negativos del consumo del tabaco ha resultado en caídas en la demanda de este producto. Según el sitio ***The World in Data***, a nivel mundial, entre el año 2000 y el 2020 el porcentaje de adultos fumadores se redujo de 34 a 23 por ciento. La caída en la población de fumadores ha ocurrido tanto en países desarrollados (EEUU, de 34 a 23 por ciento, UE de 35 a 26 por ciento) como en los de ingresos medios (42 a 24 por ciento). América Latina experimentó una fuerte caída en la población de fumadores (25 a 12 por ciento), mientras que en Argentina la misma fue menor, de 29 a 24 por ciento.

Pese a lo anterior, el tabaco representa un cultivo de importancia para la agricultura de muchas regiones del mundo. En particular, el alto valor de la producción por unidad de superficie, junto con el intenso uso de mano de obra genera ingresos significativos para productores cuya disponibilidad de recursos (especialmente tierra) resultan limitados. En Argentina, el valor de la producción de tabaco fue en 2022 de unos 260 millones de dólares. En los años 2004 y 2005, sin embargo, esta cifra llegó a los US\$ 420 millones (Base de datos FAOSTAT, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). En Argentina la producción de tabaco resulta relevante no solo por el valor absoluto que genera, sino también por el hecho de estar localizada, en especial, en el noreste (Corrientes y Misiones) y el noroeste (Jujuy y Salta), provincias caracterizadas por menores nivel de desarrollo que el promedio del país. El tabaco es una actividad difícil de reemplazar para los aproximadamente 19.000 productores (campaña 2015/16, Ministerio de Hacienda, 2019) involucrados en la actividad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo tiene dos objetivos: (1) Analizar la economía de la empresa tabacalera jujeña, focalizando atención en ingresos y costos, así como de posibilidades de diversificación productiva a nivel finca y (2) Evaluar el cambiante grado de concentración existente en el mercado del tabaco del cual participa el productor jujeño.

El trabajo se organiza en las siguientes secciones: (1) Evolución reciente del mercado internacional del tabaco, (2) Economía de la empresa tabacalera jujeña, (3) Estructura, conducta y performance del mercado de tabaco, (4) Conclusiones

RESULTADOS

Tabaco en el Mundo

La evolución de cantidades producidas a nivel mundial muestra una importante caída: de las 7.5 millones de toneladas en 1990/94, a las 5.8 millones tres décadas más tarde (23 % de reducción). Pero la evolución de la producción de tabaco ha sido muy dispar entre países y regiones: en los EEUU y la Unión Europea la producción actual es sólo ¼ de la de 1990/94. (Tabla 1). En contraste con lo anterior, varios países en vías de desarrollo muestran incrementos significativos en cantidades producidas, entre ellos la India, Brasil y el continente africano, con incrementos del orden del 34-35 %. Si bien en el mismo período, la producción argentina experimentó un incremento modesto (6 %), la producción de 2020/22 es inferior a la lograda diez años antes. Lo anterior lleva a algunos observadores a diagnosticar, el caso del tabaco en Argentina, como una situación de “economía involutiva” (Sturzenegger, 2016).

Tabla 1: Producción Mundial de Tabaco

Cantidades Producidas ('000 t)								
Período	Argentina	Brasil	RPC	EEUU	India	UE	África	Mundo
1990-94	93	522	2969	745	570	550	437	7562
2000-04	124	679	2402	417	490	451	453	6352
2010-04	125	853	3187	332	765	232	599	7315
2020-22	99	705	2150	193	765	118	578	5827
Cantidades Producidas (1990-94 = 100)								
Período	Argentina	Brasil	RPC	EEUU	India	UE	África	Mundo
1990-94	100	100	100	100	100	100	100	100
2000-04	133	130	81	56	86	82	103	84
2010-04	134	163	107	45	134	42	137	97
2020-22	106	135	72	26	134	22	132	77
Cantidades Producidas (% del total)								
Período	Argentina	Brasil	RPC	EEUU	India	UE	África	Mundo
1990-94	1.2	6.9	39.3	9.8	7.5	7.3	5.8	100.0
2000-04	1.9	10.7	37.8	6.6	7.7	7.1	7.1	100.0
2010-04	1.7	11.7	43.6	4.5	10.5	3.2	8.2	100.0
2020-22	1.7	12.1	36.9	3.3	13.1	2.0	9.9	100.0

Fuente: FAOSTAT (consulta diciembre 2024 <https://www.fao.org/faostat/en/>)

Más de 90 países participan de las exportaciones mundiales de tabaco, de éstos, sólo diez concentran entre ellos (datos de 2022) el 70 % del total exportado. Brasil es por lejos el más importante exportador mundial (23 % del total)). Con un total para el año 2022 de US\$ 268 millones, Argentina ocupa el noveno lugar en el ranking de exportadores. En valor, esto representa el 2.7 % de las exportaciones mundiales de este producto.

Una primera aproximación a “calidad” de la exportación de cada país puede obtenerse dividiendo valor exportado por cantidades exportadas. En esta métrica se destacan los EEUU, Indonesia y Alemania, con precios por kg de entre US\$ 6 y 8. En contraste, China e India muestran valores de US\$/kg 2.5-3.1, y Argentina valores algo mayores que estos últimos (US\$/kg 3.7) (base de datos COMTRADE de las Naciones Unidas, sitio <https://comtradeplus.un.org/>). Lograr aumentar precios recibidos en el mercado internacional resulta entonces un importante objetivo de la industria local.

Tanto los gobiernos como la Organización Mundial de la Salud (OMS) han incorporado a sus políticas medidas tendientes a reducir el consumo de este producto. Al respecto, un informe reciente de la OMS detalla evolución y perspectivas de consumo de tabaco en diferentes regiones del mundo, grupos de ingreso per-cápita, y género de población consumidora (WHO, 2016). A nivel mundial, en las últimas dos décadas la prevalencia (% de población que consume tabaco) se ha reducido: de 50 a 35 % para varones, y 17 a 7 % para mujeres. La reducción ha ocurrido tanto en países de altos ingresos (para ambos sexos, de 33 a 26 %) como los de ingresos bajos (de 24 a 16 %) (WHO, 2016).

En las últimas décadas la participación de las exportaciones en el total de la producción argentina ha variado entre un mínimo de 40 % y un máximo de 80 % (datos de COMTRADE y la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca). La comparación entre Argentina y Brasil, actualmente el mayor exportador mundial, muestra que los precios FOB de este último han sido en general más altos que los argentinos (de 10 a 50 % mayores), aunque en años recientes la diferencia parecería haberse reducido. Brasil, sin embargo, muestra una mayor dinámica exportadora: en 2020 las exportaciones brasileras eran aproximadamente 5 veces mayores que las argentinas, en la actualidad son 10 y hasta 12 veces mayores (Figura 1).



Fuente: COMTRADE (consulta diciembre 2024. Sitio <https://comtradeplus.un.org/>)

El mercado del tabaco se caracteriza por importantes diferencias de precio según calidades. En el mercado argentino, el tabaco clasificado “B1F”, de máxima calidad ha tenido, según el año, una cotización de entre 20 y hasta más de 60 % mayor que el precio promedio para el tabaco en general. En general, en los años de mayores niveles de producción, un menor porcentaje del total producido se califica en los mayores valores de calidad.

La finca tabacalera en Jujuy

La Tabla 2 muestra componentes de recursos productivos de una finca tabacalera típica de 25 has, con 20 has plantadas con tabaco. De los datos presentados merece destacarse: (a) la naturaleza “intensiva” de la producción tabacalera, (b) parte de los activos de la firma (en particular las estufas y otros enseres) son “específicos” a la producción de tabaco, no pudiendo ser reasignados a otras producciones y (c) la importancia de los insumos anuales empleados por empresa (en la tabla, US\$ 152.2 mil). Estos representan el 50 % del valor de la tierra y prácticamente el 90 % del valor del capital maquinaria, instalaciones etc.

La firma tabacalera tomada como ejemplo en el cuadro anterior (25 has totales, 20 has plantadas) contrata aproximadamente 2440 jornales. La alta dependencia del factor humano resulta un desafío adicional a tomar en cuenta en lo que respecta a la administración de este tipo de empresa, en particular, una empresa compleja en cuanto a procesos decisorios y gestión de recursos (entre ellos, el factor humano).

Tabla 2: Recursos Productivos de Finca Tabacalera Jujuy
(25 has, 20 has plantadas)

Recurso	US\$ (miles)	% sobre Tierra + Capital
1.Tierra	300.0	61.3
2.Capital:		
2.1 Estufas	18.6	3.8
2.2 Canales, caminos,	2.4	0.5
2.3 Galpones, vivienda		
2.4 Maquinaria, herramientas	168.8	34.5
TOTAL Tierra + Capital	489.7	100.0
Gastos Anuales	152.2	

Fuente: Cámara del Tabaco de Jujuy – Campaña 2021/22

Tipo de Cambio Oficial = \$ 212/US\$

Sturzenegger (2016) señala el impacto diferencial de apreciación cambiaria sobre los tradicionales cultivos pampeanos (fundamentalmente cereales y oleaginosas) y los (diversos) cultivos producidos en las regiones extra pampeanas. Según el autor, mientras que los primeros tienen una estructura de costos con preponderancia de insumos transables (insumos cuyo precio se determina en el mercado internacional, por ejemplo fertilizantes, agroquímicos), en los segundos los insumos no-transables (fundamentalmente trabajo, con un precio resulta de condiciones internas) cobran mayor importancia.¹ Por lo anterior, apreciación cambiaria (un “dólar barato”) resulta en un fuerte incremento, entre otros, en el costo del factor trabajo en términos de producto.

Para el período 2010-2023, Catcoff *et al.*, 2024 describen tendencias recientes en cuanto a mecanización del cultivo en la provincia de Jujuy. Los autores señalan que el proceso de mecanización llevado a cabo en Argentina ha sido más lento que el de la producción tabacalera en los EEUU, Europa y Canadá donde el uso de transplantadoras, desfloradoras y cosechadoras data de la década de 1970.

El trabajo de los autores permite hacer algunas inferencias relativas a la intensidad del proceso de mecanización llevado a cabo desde 2010. Los autores señalan (ver Figura 1) que la superficie implantada con el cultivo se redujo de unas 20.000 hectáreas en 2010, a 12.600 en 2021/22 una reducción del 37 por ciento. En el mismo período, aumentó el parque de maquinaria abocada al cultivo. Por ejemplo, estimaciones aproximadas que pueden hacerse según su Figura 3, indican que el total de potencia (hp) disponible aumentó, entre 2010 y 2022 en casi 50 por ciento.² Una reducción de superficie implantada del orden de 37 por ciento, unida a un aumento en la potencia disponible de 50 por ciento tiene como resultado que la potencia por unidad de superficie implantada se multiplicó por algo menos que 2.5, pasando de 8.2 a 20.4 hp/ha.

Las evidencias apuntan entonces a un sostenido aumento en el ratio Capital/Trabajo en la producción de tabaco. Las implicancias del mayor uso de capital sobre la futura distribución de tamaño de empresa tabacalera es un tema relevante, pero para el cual no existe al momento mayor información.

²Registros de una finca tabacalera para las campañas 2019/20-2023/24 muestran una participación del factor trabajo en el gasto total (trabajo+ energía + servicios de terceros + insumos varios) de entre 25 y 55 %. Datos recibidos del Ing. Osvaldo Montenegro, Julio 2024.

³ Se han realizado cálculos aproximados en base a datos de la figura.

Una posibilidad es que las empresas de mayor tamaño tendrán ventajas en lo que a incorporación de procesos mecanizados con respecto a las medianas y, especialmente, las pequeñas. Esto por la relativa “indivisibilidad” de los bienes de capital, y por la mayor eficiencia en términos de costos operativos unitarios de máquinas de mayor capacidad.³ Si este es el caso, debería observarse un paulatino aumento en la participación de empresas de mayor y una concomitante reducción en las de menor tamaño en la producción tabacalera. Pero las evidencias no parecen avalar al menos claramente dicha línea de razonamiento. En efecto, según datos de la Dirección de Tabaco de Jujuy (Bianco, B. datos sin publicar) entre 2010 y 2022, la participación (en el total de número de empresas, no volumen producido), de unidades menores a las 15 has aumentó de 15 a algo mas de 30 por ciento, mientras que las mayores a 50 has se redujeron de 41 a 23 por ciento del total de empresas.

Diversificación productiva

En Jujuy, las áreas productivas están delimitadas por condiciones agroecológicas (Hansen, 2022). Cada valle encuentra su especialización por cultivo. Si bien bajo las actuales condiciones de la tecnología, organización y estructura de mercado, el tabaco resulta de difícil reemplazo en la zona central donde se cultiva, resulta de interés analizar, aún a título exploratorio, la eficiencia de uso de recursos de diversas alternativas en la provincia de Jujuy.

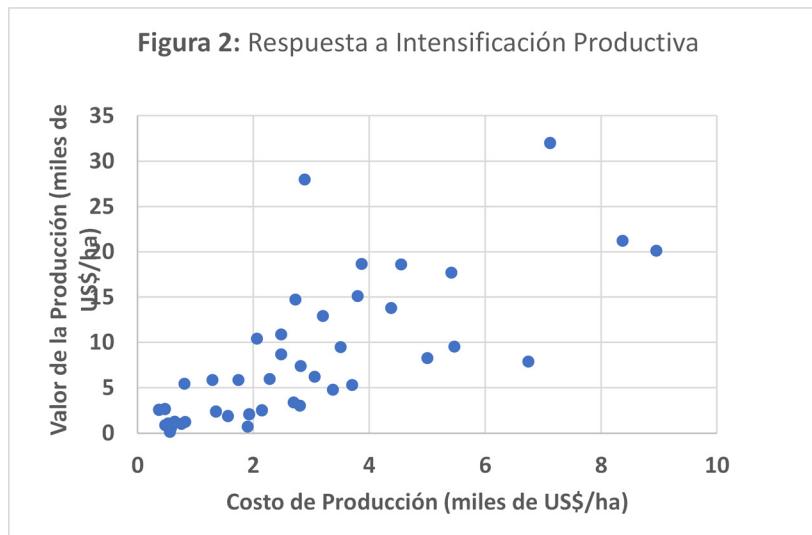
¿Qué actividades podrían eventualmente competir, aún parcialmente, por el uso de los recursos tierra, capital, trabajo y gestión gerencial, con el tabaco? A modo de introducción, entre comienzos de la década del 2000 y el 2020/22 el área sembrada con los principales cultivos extensivos de grano (soja, maíz, trigo y poroto) aumentó un 50 por ciento (aumento de unas 20.000 has). Como fue mencionado, en el mismo período el área plantada con tabaco bajó unas 8.000 has. Si se suponen gastos (sin incluir imputación por capital o renta de la tierra) de producción por hectárea del tabaco de unos US\$ 5.000, esto resulta en US\$ aproximadamente US\$ 40 millones anuales menos asignados al tabaco. El incremento en área sembrada de 20.000 hectáreas de cultivos de grano, suponiendo un gasto por hectárea de US\$ 400, resultan en una asignación de recursos a esta actividad del US\$ 8 millones, lo cual representa 1/5 de lo “liberado” por reducción en la superficie de tabaco.⁴ Claramente, a fin de mantener los ingresos del sector productor agrícola, resulta necesario hallar alternativas de inversión por los US\$ 32 millones que resultan de la diferencia entre el menor gasto por reducción de superficie de tabaco, y mayor gasto por aumento de cultivos intensivos.

Relacionado a lo anterior, intensificar el uso de la tierra requiere aumentar el uso de insumos por unidad de superficie. Esto puede hacerse inyectando cantidades adicionales de insumos a una misma actividad, o cambiar a una actividad sobre la cual se utilizan mayores niveles de insumos por unidad de superficie.⁵ La Figura 2 muestra esta última alternativa, para el caso de algo unas 40 actividades que potencialmente pueden realizarse en Jujuy.⁶ Estas incluyen hortícolas, aromáticas, legumbres, cereales y oleaginosas. El eje horizontal muestra el grado de intensificación, representado por el costo por hectárea, y el vertical ingreso también por hectárea. Cada punto representa la combinación de costo e ingresos de una actividad posible de ser llevada a cabo en la provincia.

⁴ A modo de ejemplo: la diferencia (en %) de capacidad de trabajo de un tractor de 100 hp con respecto a uno de 75 hp es mayor que la diferencia (%) de costo operativo entre ambos. Aprovechar el menor costo operativo del tractor de 100 hp requiere, sin embargo, cierta superficie mínima.

⁵ Lo anterior no debe interpretarse en el sentido que el aumento en la superficie con granos ocurrió en áreas anteriormente ocupadas con tabaco. A nivel provincial, sin embargo, la reducción del área de tabaco, junto con el aumento de la asignada a granos implicó reasignación de recursos (capital y trabajo) de la primera a la segunda.

⁶ Datos obtenidos para el análisis presentado en esta sección corresponden al informe de Montenegro (2024)



Fuente: Montenegro 2024.

De los datos resulta que incrementar el uso de insumos variables de (aproximadamente) US\$ 1.000 a US\$ 4.000 por hectárea resulta en incrementos de ingresos de unos US\$ 7.000 por hectárea, o sea unos US\$ 2.3 por cada US\$ adicional gastando. A la vez, aumentar el costo de US\$ 4.000 a US\$ 8.000 resulta en un incremento de US\$ 8.000 (US\$ 2.0 por cada US\$). Si bien lo anterior sugiere la existencia de “retornos marginal decrecientes”, los mismos no parecen verificarse ajustando un modelo de regresión a los datos disponibles. En efecto, para el modelo:

$$[1] \mathbf{VP} = \mathbf{A} \mathbf{C}^\alpha$$

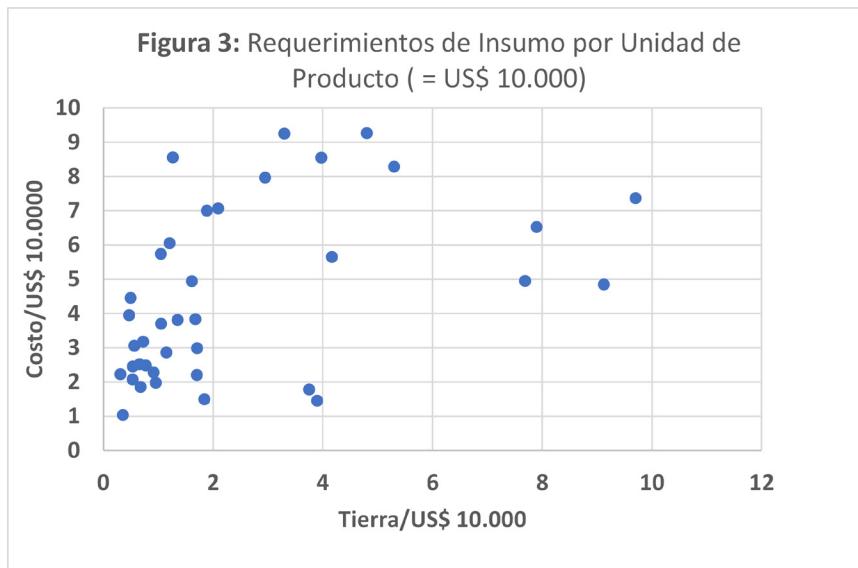
Donde **VP** = valor de la producción, y **C** = costos, ambos en US\$/ha, se obtiene un ajuste altamente significativo (valor “t” para el coeficiente α de 7.9, $R^2 = 0.61$). Sin embargo, la estimación indica que el parámetro α no difiere de la unidad, con lo cual la relación entre costos e ingresos es, en el rango de valores observados, lineal. El valor estimado para el parámetro **A** es de 2.44, lo cual indica que la inyección de US\$ 1 adicionales genera un aumento de producto de US\$ 2.44, una “tasa de retorno” de 144 por ciento, valor elevado pero que resulta de los datos empleados para el análisis.

La elasticidad unitaria al uso de insumos (al menos en el rango de uso de insumos considerado) implica que el potencial productivo agrícola no aparece limitado por retornos decrecientes al uso de capital por unidad de tierra. Mas bien, la restricción de intensificar la producción podría estar condicionada por las características de la demanda de los productos considerados. De ser este el caso, la persistencia del tabaco no se debe a la baja respuesta al capital de otras alternativas, sino más bien a las posibilidades del mercado (fundamentalmente doméstico) de absorber cantidades adicionales de estos productos alternativos.

Aspectos adicionales relativos a posibilidades de sustitución pueden verse en la Figura 3 que muestra “requerimientos de insumo por unidad de producto”. En este caso, tierra (eje horizontal) y costos (eje vertical) necesarios para producir US\$ 10.000 de producto.

En la figura, la eficiencia de las actividades en utilizar recursos aumenta conforme nos movemos de “noreste” hacia el “sudoeste” en el gráfico, es decir, conforme se reduce la cantidad de insumos necesarios para producir US\$ 10.000 de ingresos. El rectángulo que se ubica a la derecha del diagrama incluye las actividades de garbanzo, lenteja, poroto y maíz. Como puede verse, éstas tienen eficiencias relativamente bajas en el uso de ambos factores de producción (en particular, la tierra). El óvalo cerca

del origen del gráfico incluye el pimiento, arveja, apio, haba, lechuga y lavanda, todas actividades de alta productividad por unidad de insumo. Resulta claro que reasignar recursos desde las actividades incluidas en el rectángulo, a aquellas del triángulo resulta en un aumento en la eficiencia en el uso de la tierra y (especialmente) el capital. Pero obviamente, la pregunta es: ¿que limita este cambio?.



Fuente: Montenegro 2024.

El tabaco (junto con la chaucha y otras actividades) se encuentra dentro del triángulo que muestra la figura. Según el diagrama, para este cultivo la eficiencia en el uso de la tierra es (comparativamente) alta, no tanto la eficiencia en el uso del capital. Pero esta posición cambia si a los ingresos por producción del tabaco, se suma los aportes resultantes del Fondo Especial del Tabaco (FET). En este caso, el precio recibido por el productor (según el año) prácticamente se duplica, lo cual reduce a la mitad el requerimiento de insumos. La posición del tabaco se desplaza hacia abajo y a la izquierda, reduciendo la distancia al origen a la mitad de la ocupada originalmente. El tabaco se convierte así en un cultivo de “eficiente” en el uso de ambos factores, ubicándose en la zona del óvalo que, como se mencionó, incluye varias hortícolas altamente perecederas. Pero el tabaco, a diferencia de éstas tiene una orientación claramente exportadora, y por lo tanto de menor dependencia de demanda interna.

DISCUSIÓN

Evaluar la estructura y conducta del mercado del tabaco resulta importante a fin de comprender las restricciones que enfrenta el productor. El eventual “poder de mercado” resulta un aspecto relevante. Al respecto, el “grado de concentración” de una industria puede ser evaluado de diversas formas. Una de las más utilizadas es el llamado “Índice Herfindahl-Hirschman” (IHH). El mismo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$[2] \quad IHH = \sum_{k=1}^K S_k^2$$

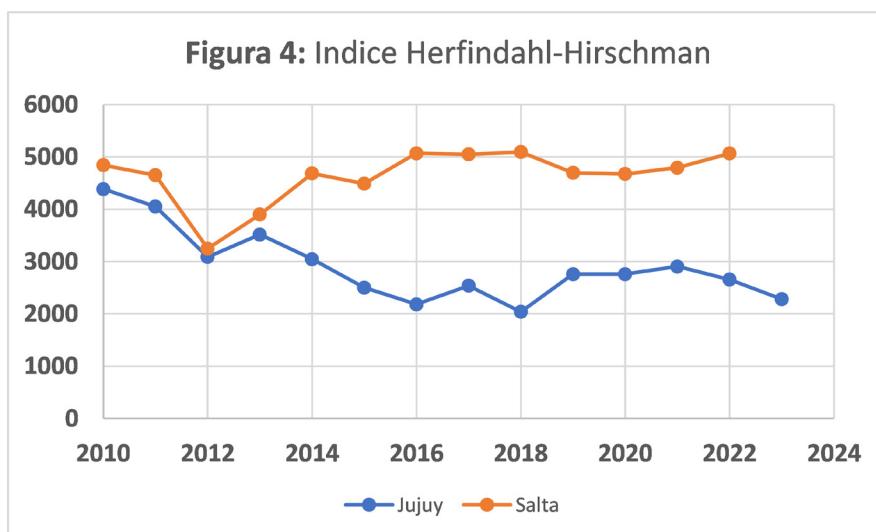
Donde S = participación (en porcentaje) de la k -ésima empresa en el mercado en consideración y K es el número total de empresas en el mercado correspondiente. Al elevar al cuadrado la participación de cada empresa IHH pondera cada empresa elevando cuadrado su participación de mercado. Al ser $0 < S_k < 1$, el “peso” que se da a cada empresa en el índice se reduce tanto más cuanto menor es el “share” de la empresa en el total. La Tabla 3 sirve de orientación respecto al grado de concentración de la misma según el IHH.

Tabla 3: Índice de Herfindahl-Hirschmann (IHH)

IHH	Mercado
< 100	Muy Competitivo
Entre 100 y 1.500	Desconcentrado
Entre 1.500 y 2.500	Moderadamente concentrado
> 2.500	Altamente concentrado

Fuente: Federal Trade Commission (2010)

La Figura 4 muestra, para las provincias de Salta y Jujuy, la evolución del IHH desde 2010/11 hasta 2022/23. Para el caso de Jujuy, si bien el valor mínimo de la serie corresponde a la campaña 2018/19, la tendencia del IHH resulta descendente, comenzando con IHH = 4055 al inicio del periodo, y 2658 al final. Existe entonces evidencia de que el sector acopio jujeño experimenta una transición de “altamente” a “moderadamente” concentrado.



Fuente: Datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca y Cooperativa de Tabacaleros de Jujuy (CTJ)

La caída de producción de tabaco (del orden del 15 %) ocurrida en Jujuy en el período 2000-2023 pudo haber tenido como consecuencia mayor concentración de mercado. Esto pues la supervivencia de los acopiadores requiere que éstos procesen volúmenes que permitan mantener costos medios a niveles competitivos. Y esto requiere, dado el menor volumen total, incrementar participación de mercado algunas empresas en desmedro de otras. En síntesis, la caída de la producción agregada catalizaría entonces un cambio en la estructura de mercado, tendiéndose a mayor concentración.

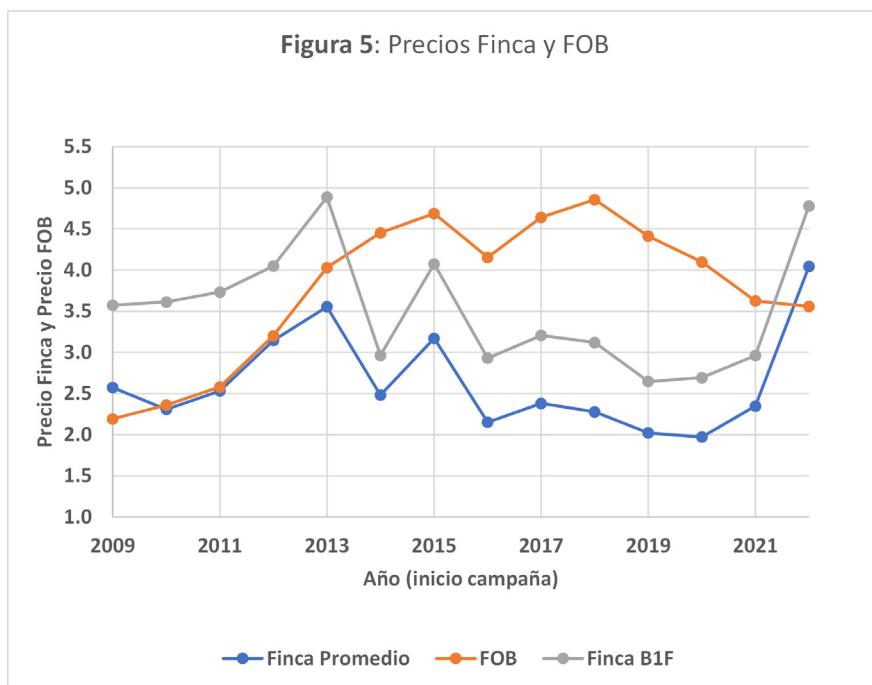
En contraste con lo anterior, si se compara 2010/11 con 2021/22, los tres mayores acopios (CTJ, Massalin y Alliance) pasan de procesar 91 a 85 % del total. Pero estas tres empresas tienen un comportamiento dispar: mientras la Cooperativa de Tabacaleros de Jujuy (CTJ) reduce fuertemente su participación (de más de 60 a menos de 40 por ciento), Alliance lo aumenta de menos de 15 a más de 30 por ciento, mientras que Massalin se mantiene más o menos constante. Esta reducción va acompañada de un incremento en la participación de las tres empresas que siguen en volumen, cuya participación pasa del 8 al 12 %.

Para el caso de Salta, se observa un grado de concentración considerablemente mayor al de Jujuy.

Además, y a diferencia de Jujuy, el IHH de esta provincia, no muestra una tendencia decreciente en el tiempo. Como ha sido señalado por Sturzenegger (2016), el desempeño y posición competitiva del acopio cooperativo resulta un factor importante en lo relativo a performance del mercado del tabaco.

En cuanto a conducta y performance, un aspecto relevante a analizar es el proceso de trasmisión de precios internacionales (precios “libre a bordo”, denominados como “Free on Board” o FOB) a los recibidos por los productores. El diferencial de precio existente entre mercadería “puesto en el barco” (FOB) y en la finca depende de: (a) costos de acopiar, almacenar, procesar y transportar tabaco, (b) impuestos y tasas a pagar por el exportador, (c) contingentes como seguros y costos financieros, (d) grado de poder de mercado en manos del acopiador y exportador y (e) diferenciales de precios asociados a diferencias de calidad entre el tabaco “promedio” y el que se exporta.

La Figura 5 muestra para las campañas 2009/10-2022/23, precios FOB, precios finca promedio, y precios finca para la categoría “B1F” de tabaco, de mayor calidad que el promedio, y tomada como referencia “100” en la escala de precios con los que se comercializa este producto. El diferencial de precios ha variado ampliamente entre años: desde períodos donde los precios internos seguían de cerca a los internacionales (2009-2013) o en el caso del B1F los superaban, y otros (2016-2021) donde la brecha entre ambos era considerable.



Fuente: Datos de CTJ y COMTRADE

Si se promedia el cociente de precios FOB/Finca para la serie 2009-2022, se obtiene un diferencial de 30 %. A modo de ejemplo (tal vez anecdótico), los gastos de comercialización “normales” de *commodities* como el maíz y la soja son en general estimados en cifras similares o algo más bajas. Los diferenciales FOB, finca del tabaco no parecerían entonces “exagerados”, al menos si se los compara con los existentes para cereales y oleaginosas, productos que.

No parece haber una relación clara entre la reducción del IHH ocurrido en la última década y media y los cambios en la tendencia en cuanto a diferencial precio FOB, precio interno. En efecto, el período 2009-2013, caracterizado por un IHH cercano a 4000, muestra menor “brecha” entre precio FOB e interno que en el período 2016-2020, donde el IHH había caído a menos de 2500. En principio entonces, y suponiendo ausencia de otros factores relevantes, el “poder de mercado” no parece explicar los diferenciales de

precios entre la exportación y el mercado interno.

Las conclusiones relativas a grado de competencia presentadas aquí contrastan con las que resultan del trabajo de Sturzenegger (2016), que encuentra evidencias de fuerte poder monopsómico en el sector comercializador de tabaco jujeño. Sin objetar los resultados del riguroso trabajo del autor, resulta relevante indagar acerca de las barreras que impiden entrada a nuevos participantes del sector comercializador. Además, la razón por la cual los diferenciales FOB-finca no guardan estrecha relación con la cambiante concentración de mercado medida a través del IHH.

CONCLUSIÓN

La producción tabacalera enfrenta desafíos que surgen de la reducción en el consumo per-cápita de este producto. El patrón de producción mundial está cambiando, observándose caídas en países desarrollados, junto con aumentos en varios países en desarrollo, entre ellos Brasil, la India y algunos del continente africano.

El tabaco es un cultivo de alta intensidad de uso de factores por unidad de superficie. Esto, sumado a alto requerimiento del factor trabajo, resultan en la necesidad de una cuidadosa gestión a nivel finca, e importante dependencia de variación interanual de precios de factores y condiciones productivas.

La incorporación de nuevas actividades productivas resulta prioritaria para el desarrollo rural de la provincia de Jujuy. Esto permitirá no solo generar nuevas fuentes de ingreso, sino que colocará al productor tabacalero en una mejor posición competitiva frente al resto de los actores de la cadena de valor tabacalera. En este trabajo se muestra que existen retornos económicos a intensificar la producción asignando recursos a actividades no-tradicionales, pero que para esto sea posible resulta necesario desarrollar acceso a nuevos mercados para éstas. La exportación es entonces el camino a seguir. Pero para que esto sea posible, se requiere coordinar aspectos relacionados a tecnología, logística e información de mercado. El concepto de “cluster” captura las sinergias que se desarrollan cuando un grupo de empresas focalizadas en cierto mercado coordinan actividades logrando así considerables economías. Al respecto, y refiriéndose al cultivo del tabaco, el Ing. Juan Regazzoni manifiesta lo siguiente:

La existencia de un verdadero y aceptado Cluster del sector facilita muchísimo la sustentabilidad económica del mismo; la Cámara, Cooperativa, Acopiadoras, red de gas, red de insumos y otros servicios, red de riego y consorcios, etc., etc. Hago un paréntesis; desde mi punto de vista, fue el sector tabacalero quién motorizó la construcción del dique Las Maderas y de sus accesorios. Sin dique no hubiera existido la expansión del tabaco (Ing. Juan Regazzoni, datos sin publicar).

El concepto anterior relativo al cultivo del tabaco, puede aplicarse en forma directa a otras alternativas productivas que permitan diversificar la producción agrícola jujeña. La acción coordinada necesaria para esto es compleja, pero como ha señalado la laureada Nobel Elinor Ostrom, resulta factible (Ostrom, 2015). La importante diversidad de situaciones agroecológicas de la provincia de Jujuy resulta a la vez en un desafío, pero también oportunidad. Desafío por la necesidad de desarrollar tecnologías y actividades sitio-específicas, con el costo que esto implica. Pero oportunidad por la posibilidad de acceder a múltiples mercados, tanto internos como, fundamentalmente, de exportación.

Las evidencias mostradas aquí indican para la provincia de Jujuy, una reducción en el grado de concentración de mercado en la etapa acopio/comercio, y como consecuencia una tendencia a mayor transparencia en el mercado. La evolución futura del sector acopio/comercio, el rol de la CTJ y la generación de información de mercado que permita mejorar la toma de decisiones son aspectos importantes que hacen al futuro comportamiento de este mercado.

BIBLIOGRAFÍA

Catcoff, M.T., P.U. Balderrama y J.E. Reggazzoni (2024), Descripción exploratoria cuantitativa del proceso de mecanización del tabaco Virginia en los Valles Templados de Jujuy, Argentina, durante el período 2010 a 2023. Revista Científica FCA 17(1): 14-23

Cámara de Tabaco de Jujuy (2021), Costos de producción de tabaco Virginia. Campaña 2021/2022.

Cooperativa de Tabacaleros de Jujuy (CTJ).

COMTRADE. <https://comtradeplus.un.org/TradeFlow>

FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#home>

Federal Trade Comission (FTC), (2010), Horizontal Merger Guidelines. U.S. Department of Justice. <https://www.justice.gov/atr/file/810276/dl?inline>

Hansen, M. (2022). La sostenibilidad del productor tabacalero jujeño. Tesis de Maestría en Dirección de Empresas. Univ. del CEMA – Buenos Aires – 117 pp.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGYP). https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/tabaco/produccion_mercados/interno/

Ministerio de Hacienda (2019). Informe de Cadenas de Valor-Tabaco. Subsecretaría de Programación Microeconómica. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspmicro_cadenas_de_valor_tabaco_1.pdf

Montenegro, O. (2024). Margen Bruto de principales actividades y otras de Jujuy. CER BC Número 104. Junio 2024.

Pastor C.A. & Jury C. A. (1990). Estudio sobre tabaco en la región noroeste argentina. [Consejo Federal de Inversiones, 5V. O H12232P11V H41121 280 H1131 Biblioteca Dr. Manuel Belgrano CFI] <http://biblioteca.cfi.org.ar/documento/estudio-sobre-tabaco-en-la-region-noroeste-argentina/>

Secretaría de Bioeconomía. (2024). Consumo de paquetes de cigarrillos – serie histórica 1910-2024. [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/tabaco/estadisticas/_archivos//000004%20-%20Consumo%20Aparente%20\(Paquetes%20Vendidos,%20Consumidos%20por%20habitante%20-%20A%C3%B1o%20%20\(1910%20-%202024\).pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/tabaco/estadisticas/_archivos//000004%20-%20Consumo%20Aparente%20(Paquetes%20Vendidos,%20Consumidos%20por%20habitante%20-%20A%C3%B1o%20%20(1910%20-%202024).pdf)

Sturzenegger, A. (2016). Una economía regional de sobrevivencia involutiva. El caso del tabaco Virginia en Jujuy y la comercialización monopsómica. Monografía inédita.

Ostrom, E. (2015). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press. ISBN 9781107569782.

World Health Organization (2016). WHO global report on trends of tobacco 2000-2025, third edition. Geneva, WHO 2016.

TRABAJO

AULA INVERTIDA: UNA PROPUESTA DE INNOVACIÓN PEDAGÓGICA EN LA ASIGNATURA DISEÑO EXPERIMENTAL

FLIPPED CLASSROOM: A PROPOSAL FOR PEDAGOGICAL INNOVATION IN THE SUBJECT OF EXPERIMENTAL DESIGN

Humacata, I. C.^{1,2*}, Quiquinto, A. J.^{1,2}, Leaño, M. C.^{1,2}, Solís, J. M.^{1,2}, Guzman, V. R.³ y López, M. V.^{1,2}

¹Cátedra de Bioestadística y Diseño Experimental; ²Departamento de Matemática y Computación. Facultad de Ciencias Agrarias, UNJu;

³ Cátedra de Teoría y Práctica de la Enseñanza en Educación para la Salud, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales, UNJu.

*Autor para correspondencia:
ivonehumacata@fca.unju.edu.ar

Período de Publicación:
Julio 2025

Historial:
Recibido: 18/02/25
Aceptado: 13/06/25

RESUMEN

En el ámbito de Educación Superior, se implementó una propuesta de innovación pedagógica denominada “Aula invertida”, en la asignatura Diseño Experimental de las carreras Licenciatura en Ciencias Biológicas y Licenciatura en Bromatología, durante el año académico 2023. Se buscó atender problemáticas asociadas a la escasa motivación estudiantil y bajos resultados académicos mediante un enfoque de aprendizaje activo y centrado en el estudiante. La experiencia educativa se llevó a cabo durante 15 semanas, donde los estudiantes accedieron a contenidos teóricos y prácticos a través de recursos digitales antes de los encuentros presenciales, optimizando así el tiempo en el aula para actividades de índole práctica. Se aplicó un cuestionario con preguntas de escala Likert para evaluar las percepciones de 14 estudiantes que cursaron y aprobaron la asignatura de referencia. En cuanto a los resultados, el 100% de los estudiantes manifestó preferir el acceso a recursos digitales para la adquisición de nuevos conocimientos, tales como la visualización de videos, el uso de presentaciones audiovisuales y la participación en debates con sus pares, en comparación con la asistencia a clases tradicionales centradas en la exposición magistral y la memorización de contenidos. La propuesta pedagógica “Aula invertida” mejora las experiencias de aprendizaje de los estudiantes, lo cual se refleja en mejores calificaciones. Sin embargo, se identificaron limitaciones, como la sensación de desconexión de un 11,1% de los estudiantes al realizar sus actividades académicas de forma individual en sus hogares. Se recomienda realizar investigaciones con muestras amplias y diversas, así como investigar las percepciones de los docentes sobre esta metodología para mejorar su implementación en diferentes contextos educativos.

Palabras clave: aprendizaje combinado, aprendizaje activo, innovación pedagógica, integración de tecnología, U de Mann-Whitney

SUMMARY

In the field of Higher Education, a pedagogical innovation proposal called the “Flipped Classroom” was implemented in the Experimental Design course of the Bachelor's Degree in Biological Sciences and Bachelor's Degree in Bromatology, during the 2023 academic year. The aim was to address problems associated with student demotivation and low academic performance through an active and student-centered learning approach. The educational experience was carried out during 15 weeks, where students had access to theoretical and practical content through digital resources before in-person sessions, thus optimizing classroom time for practical activities. A Likert-scale questionnaire was administered to assess the perceptions of 14 students who took and passed the course. The results showed that 100% of the students preferred accessing digital resources, such as videos, audiovisual presentations, and peer discussions, over attending traditional lecture-based classes focused on memorization. The Flipped Classroom approach improved students' learning experiences, which was reflected in higher grades. However, some limitations were identified, including a sense of disconnection reported by 11,1% of students when completing individual academic tasks at home. It is recommended to conduct studies with larger and more diverse samples, as well as to investigate teachers' perceptions of this methodology to improve its implementation in different educational contexts.

Keywords: blended learning, active learning, pedagogical innovation, technology integration, Mann-Whitney U

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la Educación Superior enfrenta desafíos en la construcción de aprendizajes significativos, evidenciado por los bajos resultados académicos y escasa motivación hacia el estudio a lo largo del trayecto académico. Este fenómeno estaría relacionado, en gran medida, con la prevalencia de métodos de enseñanza tradicionales o tecnicistas, que presentan una lógica de comunicación unidireccional. Estos enfoques priorizan el conocimiento enciclopédico y el rol del docente como especialista sobre el de los sujetos en formación y, no logran involucrar activamente a los estudiantes en su proceso educativo (Alvarado Resendiz, García Munguía & Castellanos López, 2017).

Investigaciones recientes indican que la desconexión de los estudiantes se debe a la utilización de estrategias pedagógicas que promueven la repetición mecánica de conceptos, lo que resulta en dificultades de aprendizaje y una percepción de inutilidad del conocimiento adquirido (Awidi & Paynter, 2019; Orazzi, 2022). En este contexto, surge la necesidad de implementar enfoques innovadores que fomenten un ambiente de aprendizaje interactivo y centrado en el estudiante, donde el docente actúe como facilitador y guía (McLaughlin & Kang, 2017; Orazzi, 2022).

El modelo de aula invertida ha ganado atención como una alternativa a la enseñanza tradicional. Esta estrategia pedagógica permite a los estudiantes acceder a contenidos teóricos a través de recursos digitales antes de las clases presenciales, optimizando así el tiempo en el aula para actividades prácticas y colaborativas (Lage, Platt & Treglia, 2000). A través del uso de materiales multimedia, los estudiantes acceden al conocimiento fuera del aula, lo que les permite aprender a su propio ritmo y reforzar su comprensión durante las clases presenciales mediante apoyo individualizado y retroalimentación entre

pares (Giannini, 2021). La estrategia del aula invertida no solo promueve la autonomía del estudiante, sino que se alinea con las necesidades educativas del siglo XXI. A pesar de que existen estudios que han explorado el uso del aula invertida en la enseñanza de la Estadística y otras disciplinas en la Educación Superior (Zainuddin & Halili, 2016; McLaughlin & Kang, 2017), hay una notable falta de investigaciones sobre su aplicación en el espacio curricular de Diseño Experimental.

Este estudio tiene como objetivo analizar las percepciones de los estudiantes respecto a la aplicación del modelo de aula invertida en el curso de Diseño Experimental de las carreras de Licenciatura en Ciencias Biológicas y Licenciatura en Bromatología, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Jujuy. A partir de la recopilación y el análisis de estas percepciones, se busca aportar al conocimiento sobre esta propuesta educativa, identificando sus alcances, limitaciones e impactos positivos en las experiencias de aprendizaje de los estudiantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia de innovación pedagógica estuvo dirigida a los estudiantes que cursaron y aprobaron la asignatura Diseño Experimental de las carreras de Licenciatura en Ciencias Biológicas y Licenciatura en Bromatología (Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy), durante el segundo cuatrimestre del año 2023. La duración del curso fue de 15 semanas, organizado en un encuentro semanal, bajo modalidad presencial.

La estrategia metodológica fue de carácter mixto, no experimental. En la instancia de indagación inicial, se recolectaron datos de carácter cualitativo para conocer los hábitos de estudio de los estudiantes. También se analizaron comparativamente los documentos de planificación de cátedra y resultados de cursada de los años 2018, 2019 y 2023. La unidad de análisis estuvo constituida por una muestra por conveniencia de 14 estudiantes, quienes cursaron y aprobaron la materia Diseño Experimental durante el año 2023.

Procedimiento

Se presentó a los estudiantes la metodología de enseñanza a implementar durante la cursada. En la dinámica de clases bajo el modelo de “aula invertida” se invirtieron los roles tradicionales: el estudiante asumió un papel protagónico en su proceso de aprendizaje, mientras que el docente actuó como guía y facilitador. Se hizo hincapié en la necesidad de dedicar tiempo para la revisión del material proporcionado (Bergmann & Sams, 2012; Alvarado Resendiz *et al.*, 2017; Domínguez Rodríguez & Palomares Ruiz, 2020).

Durante la primera semana de clases se facilitó el material didáctico de la materia para trabajar en casa. Esto permitió destinar las horas de clases a la resolución de dudas y actividades prácticas. Este modelo se destacó por permitir a los estudiantes acceder al contenido en cualquier momento y lugar gracias al uso de la tecnología, eliminando la figura del profesor como mero transmisor de información (Domínguez Rodríguez & Palomares Ruiz, 2020). Se prepararon 28 videos tutoriales que fueron subidos a la plataforma YouTube, con enlaces integrados a la plataforma Moodle. También se ofrecieron guías interactivas en formato HTML donde se especificaron los objetivos de aprendizaje de cada tema, preguntas orientadoras para el estudio y bibliografía recomendada (Zainuddin & Halili, 2016). Además, se dispusieron scripts para el desarrollo de ejercicios en el programa estadístico RStudio.

Las consignas asignadas en clases consistieron en que los estudiantes propusieran casos prácticos y situaciones experimentales aplicables a sus respectivas carreras y que integrarán los tópicos de la asignatura. Las opciones para presentar sus trabajos incluyeron grabar un video y subirlo a YouTube, preparar una presentación en Power Point y exponerla ante docentes y compañeros, o presentar un informe y defenderlo ante los docentes. Se realizó un seguimiento continuo de las actividades para identificar fortalezas y debilidades en el proceso de aprendizaje, permitiendo establecer medidas

correctivas o estrategias de mejora según fuera necesario. Dichas actividades se fundamentaron en el trabajo en equipo y la búsqueda autónoma de información, e incluyeron lecturas de documentos, visualización de videos y formación de grupos (Rigo, Riccetti, Siracusa & Paoloni, 2019).

Evaluación

Para evaluar el progreso del estudiantado a lo largo de la secuencia didáctica, fuera del aula (asincrónico), se llevaron a cabo actividades individuales en la plataforma Moodle. Las mismas incluyeron cuestionarios virtuales con preguntas teóricas y prácticas para completar y de opción múltiple, con calificación automática (Peisachovich, Murtha, Phillips & Messinger, 2016).

Recolección de datos

Transcurridas 15 semanas de la implementación de este modelo pedagógico se distribuyó de forma online un cuestionario (Zainuddin & Halili, 2016; Domínguez Rodríguez & Palomares Ruiz, 2020). Este cuestionario, empleado para evaluar las percepciones de los estudiantes sobre el entorno de aprendizaje aula invertida, fue diseñado por Gilboy, Heinerichs & Pazzaglia (2015). Consiste en preguntas con una escala Likert, cada pregunta con cinco ítems con las siguientes opciones (Tabla 3): muy de acuerdo, de acuerdo, neutral, en desacuerdo o muy en desacuerdo. Este cuestionario presentó un Alfa de Cronbach de 0,81, un valor aceptable para la confiabilidad (Awidi & Paynter, 2019; Domínguez Rodríguez & Palomares Ruiz, 2020). También se incluyeron preguntas abiertas sobre las opiniones de los estudiantes respecto al trabajo desarrollado en las diferentes instancias pedagógicas que se propusieron desde el modelo de clase invertida (Zainuddin & Halili, 2016).

Análisis de datos

Finalmente, para procesar los datos obtenidos en las evaluaciones diagnósticas y finales, se utilizó el software estadístico RStudio. Se determinó si existía una diferencia significativa entre la variable estudiada (“rendimiento académico”) mediante la prueba no paramétrica de U de Mann-Whitney para grupos independientes (Chumacero, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diagnóstico de los hábitos de estudio de los estudiantes cohorte 2023

En relación a las preferencias de los estudiantes para la presentación de información durante clases, el 78,6% manifestó una inclinación hacia métodos combinados que incluyen explicaciones orales del profesor o de sus compañeros. En situaciones prácticas, el 62,2% de los encuestados mencionó que aprende de manera más efectiva al seguir instrucciones orales y colaborar en equipo. Además, las técnicas de memorización y retención de información más empleadas son la repetición en voz alta y el intercambio verbal de información (75,4%).

Cuando se trata de trabajar en proyectos, el 42,8% organiza su trabajo a través de discusiones y colaboraciones con otros. Por otro lado, en lo que respecta a las preferencias sobre el tipo de actividades en clases, el 78,5% expresó su preferencia por la resolución de problemas y ejercicios escritos (ver Anexo Figuras).

Recursos elaborados por los estudiantes

Los elementos multimedia utilizados por los estudiantes de la cohorte 2023 en la asignatura objeto de estudio se detallan a continuación:

Tabla 1: Frecuencias del uso de elementos multimediales elaborados por los estudiantes, durante el cuatrimestre, de la asignatura Diseño Experimental, 2023.

Elemento multimedia	n	%
Presentación de Power Point	6	42,86
Videos tutoriales para YouTube	3	21,43
Otros (elaboración de informes)	5	35,71

Se observa que el 64,29% de los estudiantes prefirió trabajar sobre presentaciones de Power Point y creaciones de videos tutoriales para YouTube (Tabla 1). De igual manera, Sandobal Verón et al. (2021) refieren que en relación con los materiales utilizados en el modelo aula invertida, el ver videos se destaca como un recurso valioso que podría tener implicaciones educativas significativas dentro del ámbito universitario.

Calificaciones finales de los estudiantes

Por otro lado, se realizó una prueba no paramétrica U de Mann-Whitney para muestras independientes con el fin de comparar las calificaciones de los estudiantes de la cohorte 2023 con aquellos de los años 2018 y 2019. Se encontraron diferencias significativamente más altas entre las notas de las cohortes 2023 con la del 2018 ($p\text{-valor}<0,05$), mientras que no se encontraron diferencias significativas entre las cohortes 2019 y 2023 ($p\text{-valor}>0,05$) (Tabla 2).

Tabla 2: Comparación de las calificaciones medianas entre cohortes en la asignatura Diseño Experimental (referencia: año 2023)

Año	Mediana±D.E.	n	p-valor
2018	8,00±0,49	39	0
2019	8,57±0,81	26	0,2278
2023	8,75±0,46	14	—

Nota. DE = Desviación estándar. Los p-valores resultan de comparar cada cohorte con el año 2023 (grupo de referencia). El guion (—) indica que no aplica comparación consigo mismo.

McLaughlin & Kang (2017) coinciden en sus estudios sobre una mejora en el rendimiento académico en un aula invertida de Bioestadística durante un semestre, donde se emplearon videos grabados para el aprendizaje previo y conjuntos de problemas durante la clase, en comparación con las puntuaciones de los exámenes en un formato de clase tradicional.

Mientras que, el hecho de que las medianas de las calificaciones de los años 2019 y 2023 sean iguales, puede atribuirse a la implementación de recursos digitales en la enseñanza de la asignatura durante el año 2019, como ejercicios de opción múltiple a través del aula virtual. A todo esto, es necesario considerar que los estudiantes que ingresan a la universidad en diferentes años pueden haber tenido experiencias educativas previas distintas o con poco desarrollo de la competencia digital y tratamiento de la información. Otros aspectos que podrían influir también son las aptitudes cognitivas, motivación,

relaciones dentro del grupo clase, entre otros (Dominguez Rodríguez, 2020).

Percepciones estudiantiles a la enseñanza a través de aula invertida

Los resultados presentados en la Tabla 3 indican que el 100% de los estudiantes prefirió la posibilidad de visualizar un video en lugar de asistir a una clase tradicional bajo la figura de conferencia magistral sobre los temas de la asignatura (ítem 3). Además, el 66,66% de los encuestados manifestó su preferencia por realizar trabajos activos y grupales durante las clases bajo la metodología "aula invertida" en comparación con la clase tradicional (ítem 1). En relación con el material utilizado, el 100% del estudiantado consideró que el uso de videos les permitió aprender el contenido de estudio de manera eficaz pudiendo acceder a ellos en cualquier momento (ítem 4).

En cuanto a la asimilación de contenidos, un 88,89% de los estudiantes sostuvo que aprendió más al utilizar la estrategia aula invertida (que incluye videos, lecturas cortas y actividades de aprendizaje activo en clase) en comparación con el método tradicional basado en la exposición del profesor (ítem 5). Sin embargo, un 11,1% de los alumnos expresó que se sentía desconectado sin la presencia de un profesor que les guiara al consultar el material desde casa (ítem 2).

Tabla 3: Porcentajes de las distintas escalas de percepción de los estudiantes sobre el entorno de aprendizaje aula invertida diseñado por Gilboy, Heinerichs & Pazzaglia (2015)

Item	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Muy de acuerdo
1. Prefiero tener la clase tradicional (conferencia) del profesor/a en vez de realizar trabajos activos y grupales en clases como los que se llevaron a cabo durante la cursada	22,22%	44,44%	22,22%	0%	11,11%
2. Me sentía desconectado sin un profesor presente durante los videos o actividades virtuales.	11,11%	33,33%	44,44%	11,11%	0%
3. Me gustó la posibilidad de ver un video en vez de tener una clase tradicional (conferencia) de los temas del curso.	0%	0%	0%	44,44%	55,56%
4. El uso de videos me permite aprender el material de estudio más eficazmente que hacer las lecturas en solitario.	0%	0%	0%	55,56%	44,44%

5. Yo aprendí más con el método de aprendizaje Aula invertida (ver videos, leer las guías de resolución de los ejercicios con anticipación, hacer videos, exponer en clases tanto yo como otros compañeros) en comparación con el método tradicional (exposición en clases del profesor).	0%	11,11%	0%	33,33%	55,56%
---	----	--------	----	--------	--------

Por otra parte, en los comentarios abiertos se comprobó que el estudiantado se mostró conforme con la estrategia de cursada, considerándola novedosa y agradable:

“Gracias profesores por una cursada novedosa y agradable”. (E1, 2023)

“Método de aula invertida muy bueno”. (E2, 2023)

“...me gustó que algunos compañeros expongan ya que me permitía afianzar los conocimientos y me gustó que tengamos ejercicios grabados en el aula virtual con su explicación paso por paso”. (E4, 2023)

“El aula invertida me parece un método muy interesante, porque nos compromete a venir a la clases con conocimientos previos sobre el tema.” (E5, 2023)

“Me gusta el aula invertida, los videos explicativos son cortos y precisos y se entienden.” (E6, 2023)

Refirieron que la estrategia implementada les permitió reflexionar sobre sus futuras prácticas de investigación:

“...nos permite visualizar y empezar a pensar de forma más certera posibles investigaciones que se pueden llegar a hacer en el futuro”. (E7, 2023)

Además destacaron que con el aula invertida se aprovecha de mejor manera el tiempo personal y el espacio para consultas en clases:

“Muy buenas las clases invertidas: los videos explicativos me permitió adecuarme a mis horarios y poder disponerlos en todo momento.” (E10, 2023)

“Las clases invertidas son más fáciles de llevar al día. Se aprovecha más el tiempo para las preguntas y dudas.” (E12, 2023)

Asimismo, otros aspectos que se destacaron en estas observaciones fueron la solicitud de una clase introductoria sobre el manejo del software estadístico R, proveer ejercicios y casos prácticos para el desarrollo de la consigna asignada y el acceso a una buena conexión a internet:

“De ser posible, dar una clase introductoria sobre qué es R, sus partes, formas de uso ... para poder estar más familiarizados a la hora de ejercitarse en los siguientes temas.” (E13, 2023)

“En algunos trabajos prácticos perdí mucho tiempo buscando ejercicios para resolver, pienso que

podrían subir libros con ejercicios" (E3, 2023)

"Brindar disponibilidad de más ejemplos de ejercicios para las exposiciones ya que llevó mucho más trabajo buscar ejercicios para la exposición que el desarrollo del tema en sí." (E9, 2023)

"La falta de internet a veces dificulta [cuando] se trabaja con la computadora en clases." (E5, 2023)

"el internet y las compu". (E11, 2023)

Peisachovich *et al.*, 2016 mencionan en su trabajo sobre aula invertida para estudiantes de enfermería que muchos de ellos comentaron la cantidad de tiempo de preparación que tuvieron que dedicar para escuchar las clases en línea, completar la lectura para la próxima sesión interactiva en clase y completar una tarea después de cada sesión en clase. Razón por la cual recomienda evitar crear cursos de aula invertida que requieran compromisos de tiempo sustancialmente mayores tanto del profesor como de estudiantes. Mientras que Muñoz *et al.*, 2024 aseguran que este aspecto fomenta la autonomía de los estudiantes al alentar el aprendizaje autodirigido, ya que los estudiantes deben prepararse antes de la clase, lo que mejora su compromiso durante las sesiones interactivas.

El aula invertida permite inspirar, escuchar, animar, motivar y brindar una visión mucho más enriquecedora a los estudiantes, estando éstos mucho más atentos, la clase deja de ser expositiva por parte del docente para convertirse en interactiva. Se desvanece la imagen del docente como un mero comunicador, cumpliendo ahora un rol de guía con la responsabilidad y obligación de potenciar el aprendizaje del estudiante (Orazzi, 2022). Por el contrario, algunos estudiantes pueden tener dificultades con la naturaleza autodirigida de la clase invertida, en particular aquellos que prefieren una orientación estructurada. De modo que el aula invertida promueve la autonomía del estudiante, pero el acompañamiento docente sigue siendo importante para un aprendizaje significativo (Dominguez Rodríguez, 2020; Sandobal Verón *et al.*, 2021).

Si bien la clase invertida muestra resultados prometedores, desafíos como el acceso a la tecnología y la resistencia al cambio de los métodos tradicionales siguen siendo barreras importantes para su adopción generalizada (Muñoz *et al.*, 2024).

CONCLUSIÓN

La implementación de la estrategia de aula invertida en la enseñanza de la asignatura Diseño Experimental, durante el año 2023, manifestó diferencias significativas en las calificaciones obtenidas por los estudiantes de Licenciatura en Biología y Bromatología en comparación con la cohorte 2018. Bajo esta estrategia, el 100% de los estudiantes prefirió trabajar con recursos audiovisuales en lugar de asistir a clases presenciales bajo una modalidad tradicional, y un 66,66% mostró inclinación hacia la realización de trabajos activos y grupales. Por otro lado, un 88,89% afirmó haber aprendido más con esta metodología que con el enfoque tradicional. Este modelo pedagógico es muy atractivo y eficaz para estudiantes y profesores ofreciendo una experiencia distinta en la educación poniéndonos a pensar que el implementar este modelo es una alternativa de innovación educativa viable para la enseñanza universitaria.

Las limitaciones de este trabajo que deben ser consideradas son las siguientes: la muestra se limitó a un grupo específico de estudiantes de una única institución, por lo que los resultados se acotan a este grupo. Asimismo, la percepción de desconexión expresada por un 11,1% de los estudiantes demuestra que algunos pueden requerir una mayor interacción directa con el docente para optimizar su experiencia de aprendizaje. Es importante considerar que la clase invertida no es para todos los cursos ni para todos los estudiantes.

Se sugiere realizar estudios adicionales que incluyan muestras amplias para validar estos hallazgos en diferentes contextos educativos. Además, explorar las percepciones de los docentes dentro del marco del aula invertida.

AGRADECIMIENTOS

A los estudiantes de la cohorte 2023 de la asignatura Diseño Experimental, por su activa participación, posterior a la cursada, para evaluar esta propuesta pedagógica.

A los docentes de la cátedra de Bioestadística y Diseño Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNJu, por su apoyo académico y colaboración.

A los revisores de la Revista Agraria, por sus comentarios que hicieron a la calidad de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarado Resendiz, J. L., García Munguía, M. y Castellanos López, Y. L. (2017). Aprendizaje Significativo en la docencia de la Educación Superior. XIKUA Boletín Científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan, (5). <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/xikua/article/download/2239/4418?inline=1>

Awidi, I. T. & M. Paynter. (2019). The impact of a flipped classroom approach on student learning experience. *Computers & education*, 128, 269-283. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131518302495?casa_token=mBjwutewESYAAAAAxl0A9uclpr-NT3jRYZ5nABoDjzmOnYnugnrfNeyP1SPXU5LanNrMvxne081r9SgaA1w6Pcxa80Y

Bergmann, J. & A. Sams. (2012). *Flip Your Classroom: Reach Every Student in Every Class Every Day* (pp. 120-190). International Society for Technology in Education.

Chumacero Calle, J. C. (2022). Aula invertida en el aprendizaje autorregulado en estudiantes de una universidad de Lima, 2021. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/82540>

Dominguez Rodríguez, F. J. y Palomares Ruiz, A. (2020). El "aula invertida" como metodología activa para fomentar la centralidad en el estudiante como protagonista de su aprendizaje. *Contextos educativos: Revista de educación*, (26), 261-275. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7657253>

Giannini, A. (2021). Aula invertida. Propuesta educativa innovadora en el nivel secundario (Tesis de Licenciatura). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7657253>

Gilboy, M. B., Heinerichs, S. & G. Pazzaglia. (2015). Enhancing student engagement using the flipped classroom. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 47(1), 109-114. <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2014.08.008>

Lage, M. J., Platt, G. J. & M. Treglia. (2000). Inverting the Classroom: A gateway to creating an inclusive. Learning Environment. *The Journal of Economic Education*, 31(1), 30-43. <https://doi.org/10.1080/00220480009596759>

McLaughlin, J. E. & I. Kang. (2017). A flipped classroom model for a biostatistics short course. *Statistics Education Research Journal*, 16(2), 441-453. <https://doi.org/10.52041/serj.v16i2.200>

Muñoz, M. E. M., Párraga, A. P. B., Peralta, Y. E. V., Velez, K. L. M., Torres, V. L. C., Quiñonez, J. L. M. y Gavilanez, D. M. P. (2024). Flipped Classroom: impacto en el rendimiento académico y la autonomía de los estudiantes. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, 8(3), 10083-10112. <https://doi.org/10.52041/serj.v16i2.200>

[org/10.37811/cl_rcm.v8i3.12139](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.12139)

Orazzi, P. (2022). Implementación del modelo pedagógico flipped classroom o metodología del aula invertida. *Jornadas de Enseñanza de la Matemática*, 42-46. <https://jem.unsa.edu.ar/ojs/index.php/jem/article/view/17>

Peisachovich, E., Murtha, S., Phillips, A. & G. Messinger. (2016). Flipping the Classroom: A Pedagogical Approach to Applying Clinical Judgment by Engaging, Interacting, and Collaborating with Nursing Students. In E. Peisachovich, S. Murtha, A. Phillips, & G. Messinger, *International Journal of Higher Education* (Vol. 5, Issue 4). Sciedu Press. <https://doi.org/10.5430/ijhe.v5n4p114>

Rigo, D. Y., Riccetti, A. E., Siracusa, M. y Paoloni, P. (2019). Tres experiencias sobre clases invertidas para promover el compromiso por el aprendizaje. *Percepciones de estudiantes universitarios. Páginas de educación*, 12(2), 43-58. <https://doi.org/10.22235/pe.v12i2.1836>.

Sandobal Verón, V. C., Bianca Marín, M. y Barrios, H. (2021). El aula invertida como estrategia didáctica para la generación de competencias: una revisión sistemática. RIED. *Revista Iberoamericana de educación a distancia*. <https://doi.org/10.5944/ried.24.2.29027>

Zainuddin, Z. & S. H. Halili. (2016). Flipped classroom research and trends from different fields of study. *International review of research in open and distributed learning*, 17(3), 313-340. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v17i3.2274>

ANEXO: FIGURAS

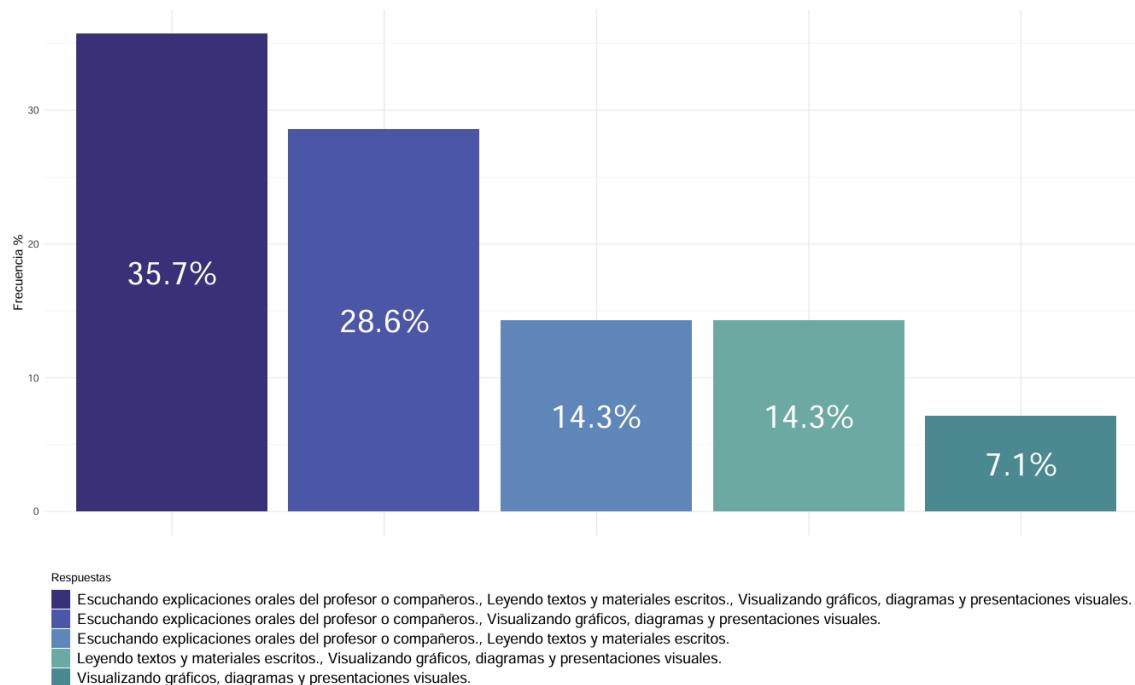


Figura 1: Distribución porcentual de preferencias de los estudiantes de Diseño Experimental para la presentación de nueva información en el proceso de aprendizaje.

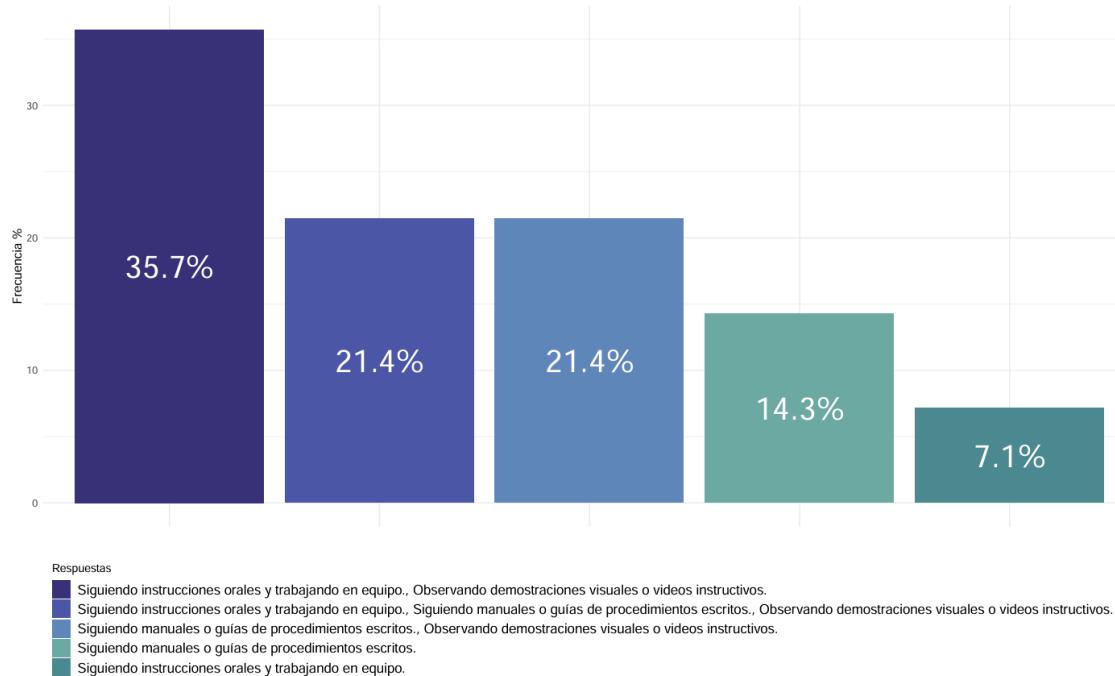


Figura 2: Distribución porcentual de preferencias de los estudiantes de Diseño Experimental para aprendizajes prácticos.

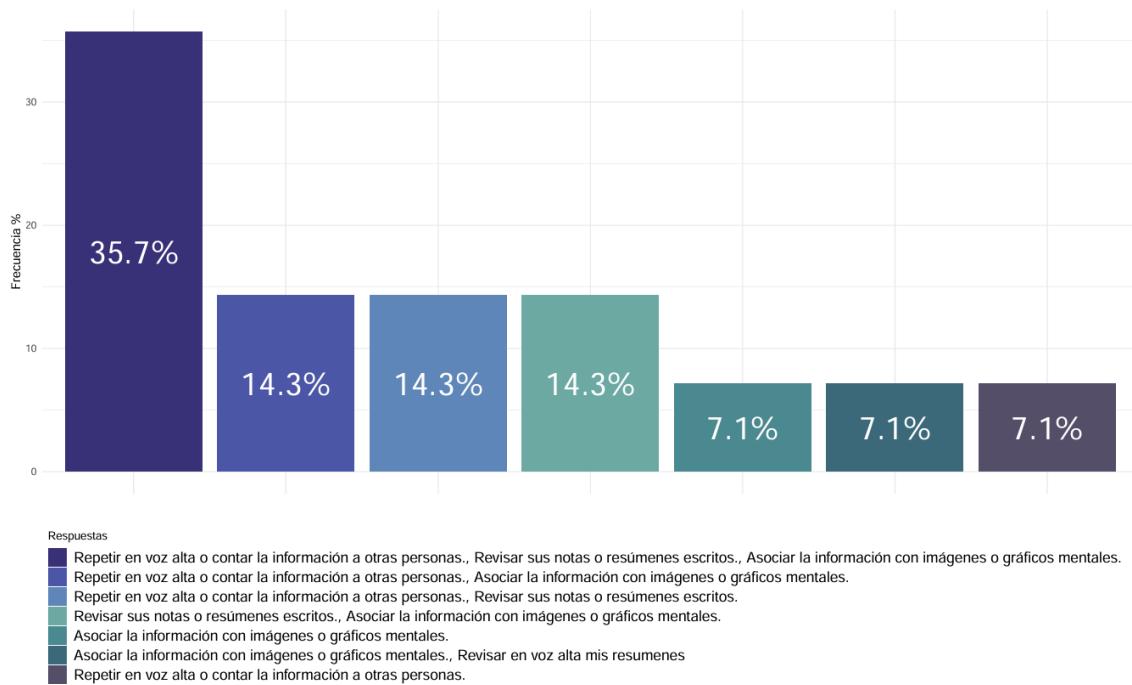


Figura 3: Distribución porcentual de preferencias de los estudiantes de Diseño Experimental en técnicas de memorización y retención de información.

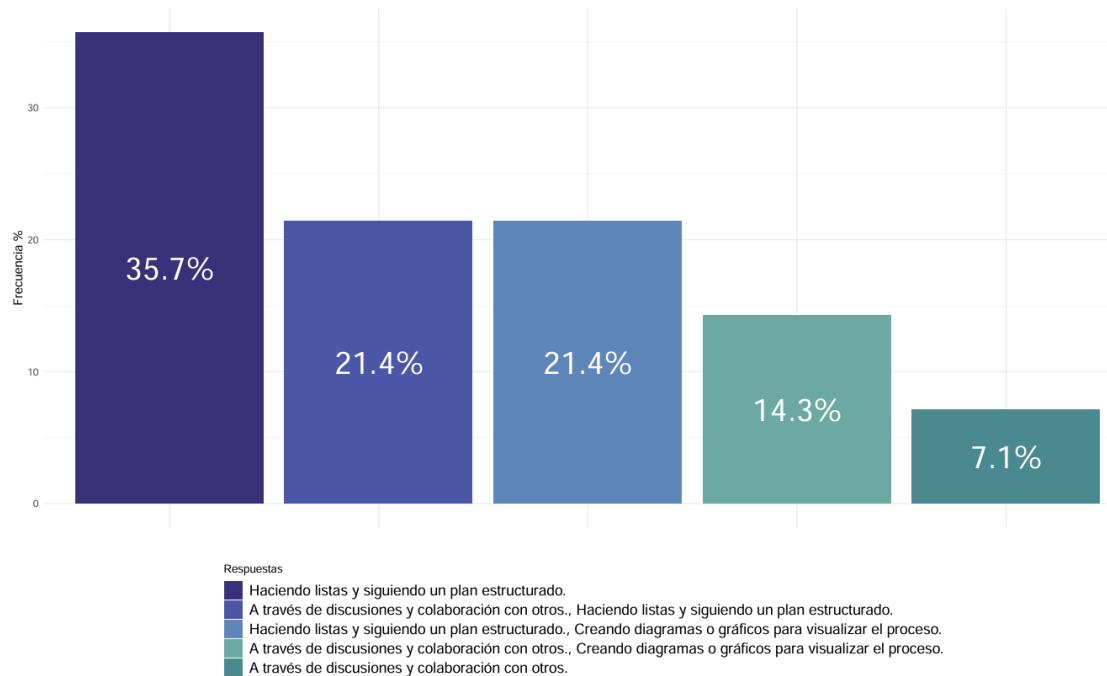


Figura 4: Distribución porcentual de preferencias de los estudiantes de Diseño Experimental en la organización para la elaboración de proyectos.

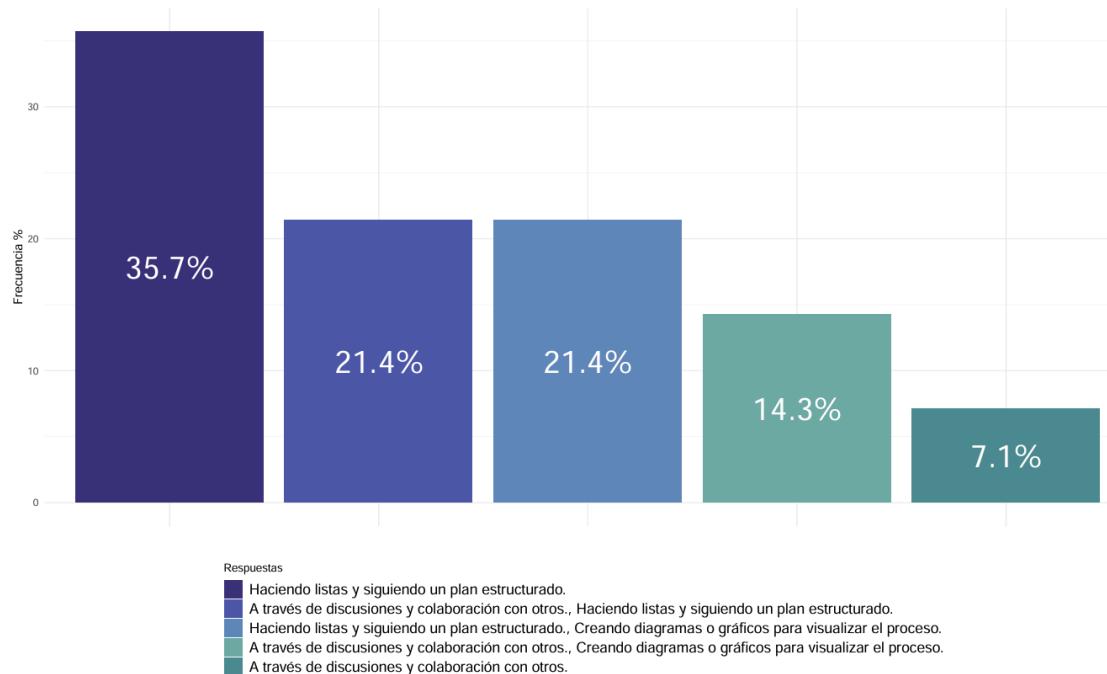


Figura 5: Distribución porcentual de preferencias de los estudiantes de Diseño Experimental en las actividades durante las clases

TRABAJO

BACTERIAS DEL INTESTINO DE HORMIGAS ASOCIADAS A COLMENAS, CON CAPACIDAD ANTIMICROBIANA

ANT GUT BACTERIA ASSOCIATED TO HIVES HAVING ANTIMICROBIAL CAPACITY

Suárez Mendoza, E. ^{1,2*}, Ruiz, G. ^{1,2,3}, Benítez Ahrendts, M. ^{1,2,3}

¹ Catádrea de Microbiología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, UNJu; ² Laboratorio de Sanidad Apícola y Meliponícola, Facultad de Ciencias Agrarias, UNJu; ³ Instituto de Ecorregiones Andinas-INECOA (CONICET-UNJu).

*Autor para correspondencia:
eva.rby@gmail.com

Período de Publicación:
Julio 2025

Historial:
Recibido: 25/02/25
Aceptado: 16/05/25

RESUMEN

En la provincia de Jujuy la actividad apícola representa una de las principales actividades de pequeños productores locales. Las colmenas de abejas son constantemente invadidas por numerosos insectos. Las hormigas son habitantes frecuentes en las colmenas de *Apis mellifera*. El objetivo de este trabajo fue aislar e identificar cepas bacterianas de los intestinos de hormigas de colmenas y de alrededores, con posible potencial inhibitorio del crecimiento del hongo *Ascospaera apis*, patógeno de *Apis mellifera*. La metodología implicó etapas de campo y laboratorio. Durante el año 2019 (exceptuando los años de pandemia) y durante el año 2023, se examinaron los interiores de colmenas del apiario Severino ubicado en el Campo Experimental Dr. Emilio Navea de la Facultad de Ciencias Agrarias. Se tomaron muestras de manera manual con ayuda de una pinza y un pincel, y se colocaron en frascos estériles para su posterior procesamiento en el Laboratorio de Sanidad Apícola y Meliponícola de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNJu. Por un lado, se realizó la identificación taxonómica de las hormigas colectadas con ayuda de claves adecuadas y por otro lado se realizó el aislamiento de una suspensión de cinco abdómenes triturados de los ejemplares de hormigas en una solución de 1,5 mL de peptona al 10% en tubos de Eppendorf, agitados en Vórtex por cinco minutos. Posteriormente se sembraron alícuotas de la solución (20 μ L), sobre placas con medio Agar Nutritivo e incubadas a 30°C por 48 hs. y en medio MRS incubadas en condiciones de microaerofilia a 37°C por 48 hs. Tras sucesivas repeticiones se obtuvieron cepas puras de las colonias bacterianas. Mediante pruebas bioquímicas y claves específicas se identificó a *Bacillus subtilis* y *Clostridium* sp. Para evaluar la actividad inhibitoria de estas bacterias, se las enfrentó con *Ascospaera apis* en medio MY-20 y se incubó en condiciones de microaerofilia a 30 ± 2°C durante 4 a 10 días. Los porcentajes de inhibición de *Ascospaera apis* frente a *Bacillus subtilis* y *Clostridium* sp. fueron mayores a los 5 días de incubación y alcanzaron casi un 100% del crecimiento e invasión de las cepas bacterianas en las superficies de las placas. Lo que sugiere que estas cepas bacterianas pueden contribuir al control de *A. apis*.

Lo que resulta en una alternativa de control biológico de enfermedades que afectan a las colmenas.

Palabras clave: *Apis mellifera*, hormigas, antimicrobiano, *Ascospaera apis*

SUMMARY

In Jujuy province, beekeeping is one of the main activities for local small producers. The bee hives are constantly invaded by numerous insects. Ants are frequent inhabitants of *Apis mellifera* hives. The objective of this work was to isolate and identify bacterial strains from hives and surrounding areas ant guts, with potential inhibitory activity against the fungus *Ascospaera apis* fungus growth, a pathogen of *Apis mellifera*. The methodology involved both field and laboratory stages. During 2019 (excluding the pandemic years) and in 2023, the hives interiors from the Severino apiary, located at the Dr. Emilio Navea Experimental Field of the Faculty of Agricultural Sciences, were examined. Samples were manually collected with the help of forceps and a brush, and placed in sterile jars for later processing in the Beekeeping and Stingless Bee Health Laboratory of the Faculty of Agricultural Sciences, UNJu. On the one hand, the taxonomic identification of the collected ants was performed using appropriate keys, and on the other hand, the isolation of a suspension of five crushed ant abdomens in a solution of 1.5 mL of 10% peptone in Eppendorf tubes, shaken in a vortex for five minutes, was carried out. Subsequently, aliquots of the solution (20 μ L) were plated on Nutrient Agar plates and incubated at 30°C for 48 hours, and on MRS medium incubated under microaerophilic conditions at 37°C for 48 hours. After successive repetitions, pure bacterial strains were obtained from the bacterial colonies. Through biochemical tests and specific keys, *Bacillus subtilis* and *Clostridium* sp. were identified. To evaluate the inhibitory activity of these bacteria, they were confronted with *Ascospaera apis* in MY-20 medium and incubated under microaerophilic conditions at 30 \pm 2°C for 4 to 10 days. The inhibition percentages of *Ascospaera apis* against *Bacillus subtilis* and *Clostridium* sp. were higher than 5 days of incubation, reaching almost 100% inhibition of growth and invasion of the bacterial strains on the surfaces of the plates. This suggests that these bacterial strains may contribute to the control of *A. apis*, providing an alternative for biological control of diseases affecting bee hives.

Keywords: ants, antimicrobial, *Apis mellifera*, *Ascospaera apis*.

INTRODUCCIÓN

Las hormigas se encuentran en toda la Argentina desde las regiones subtropicales del norte hasta las zonas templadas y frías del sur, cada región tiene sus propias especies dominantes, adaptadas a las condiciones climáticas y ambientales locales. Son uno de los grupos de insectos más abundantes y diversos en la mayoría de los ecosistemas terrestres, principalmente en los trópicos (Vásquez Bolaños, 2015). Presentan interacciones con plantas, microorganismos y otros invertebrados, como mutualismo y relaciones de parasitismo (Gallego Ropero & Feitosa, 2014). Suelen tener hongos y bacterias adheridas a sus cutículas, siendo las condiciones ambientales presentes en el interior de sus nidos, como la humedad

y la estabilidad de la temperatura, las que las predisponen a infecciones, pudiendo diseminar agentes patógenos que afectan a otros insectos (Oi & Pereira, 1993). Pueden ser portadores de enfermedades causadas por microorganismos oportunistas, como también poseer microorganismos en su interior con capacidad de inhibir ciertos patógenos (Portillo *et al.*, 2018, Ruiz *et al.*, 2021). Entre las especies de hormigas asociadas con las abejas de apiarios de los Valles de Jujuy se determinaron *Solenopsis* spp., *Acromyrmex hispidus*, *Crematogaster* spp., *Linepithema humile*, *Camponotus mus*, *Camponotus punctulatus*, *Camponotus substitutus* (Ruiz & Benítez Ahrendts, 2018).

Apis mellifera es la especie más ampliamente utilizada por el ser humano y más distribuida a nivel global (Vicente Rubiano, 2016). Su uso en el mundo está destinado principalmente a la producción de miel y en menor medida a productos como polen, propóleo, jalea real o cera entre otros (Garibaldi *et al.*, 2013). La actividad apícola en Argentina es la más importante y desarrollada de todo el hemisferio sur y una de las más grandes a nivel mundial (Ferrari, 2011). Sin embargo, algunas regiones argentinas muestran un disminución de la producción motivada por factores ambientales, problemas sanitarios, tecnológicos y económicos (EEA INTA Bordenave, 2012). De los factores mencionados, el sanitario reviste gran importancia, ya que las enfermedades y parásitos inciden en la producción (Benítez Ahrendts *et al.*, 2015).

A. mellifera es afectada por distintos organismos como virus, bacterias, hongos y parásitos que en su mayoría ocasionan daños considerables en la apicultura mundial (Ritter, 2001). Entre estos patógenos encontramos a *Paenibacillus larvae*, *Ascospaera apis* (Audisio *et al.*, 2011), *Nosema* spp. (Porrini *et al.*, 2010) y *Varroa* spp. (Maggi *et al.*, 2013). La ascosferosis es una enfermedad que afecta a las larvas en desarrollo de *Apis mellifera*. Es una enfermedad micótica, conocida como cría yesificada o de cal cuyo agente etiológico es el hongo *Ascospaera apis* (Aronstein y Murray, 2010, Jensen *et al.*, 2015). Ocasiona serios daños a las colmenas y llega a producir graves pérdidas económicas (Flores Serrano *et al.*, 2006). No existen tratamientos efectivos para esta enfermedad, por lo tanto, la única opción es aplicar diferentes medidas preventivas de manejo (León *et al.*, 2011). La prevalencia de la ascosferosis en algunos países aumentó considerablemente, al grado que se ha llegado a considerar una amenaza casi tan seria como la infestación del acaro *Varroa destructor* (Correa Benítez, 2015).

Las hormigas también son consideradas enemigas de las abejas por los apicultores, porque atacan las colmenas, consumen las reservas de alimento y pueden matar a las abejas (Collantes & Del Cid, 2022). Sin embargo, se han encontrado nidos de varias especies de hormigas sobre la entretapa de las colmenas que no causaban daños económicos para la producción (Ruiz & Benítez Ahrendts, 2018). En general suelen aprovechar el calor y la humedad de la colmena para incubar sus huevos, utilizándolas como refugios temporales o permanentes y no resultan perjudiciales en la producción de miel (Enzmann, 1947).

Los himenópteros poseen comunidades microbianas diversas y estables (Shu *et al.*, 2010, Rusell *et al.*, 2012). Algunas de ellas, como las bacterias existen naturalmente en el intestino de los insectos y se adquieren mediante la ingesta de azúcares (néctar, savia, secreciones de áfidos), de sangre y a través de materia orgánica en descomposición utilizada como alimento (Hurwitz *et al.*, 2011). La microbiota intestinal coloniza el intestino del insecto por vía oral, generalmente a través de la comida y juegan un papel clave en su digestión, metabolismo y protección frente a patógenos (Poveda, 2019). Poco se sabe sobre las bacterias que están presentes en el intestino de hormigas. La importancia de conocer la microbiota de su intestino, no es solo por el conocimiento de la comunidad bacteriana total, sino también porque muchos de estos microorganismos resultan beneficiosos, teniendo un papel determinante sobre la reproducción, inmunidad, sobrevivencia y en el desarrollo de los parásitos causantes de enfermedades (Engel *et al.*, 2012).

Este trabajo tuvo como objetivo aislar e identificar cepas bacterianas presentes en los intestinos de hormigas de colmenas y de alrededores, con posible potencial inhibitorio del crecimiento del hongo *Ascospaera apis*, patógeno de *Apis mellifera*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de muestreo

El estudio se llevó a cabo en el apiario Severino perteneciente a la región de los Valles de Jujuy, situado en el campo Experimental “Dr. Emilio Navea” de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Jujuy, ubicado en la localidad de Severino, Departamento del Carmen, provincia de Jujuy.

Recolección de hormigas

Para la colecta de hormigas del interior de las colmenas, se llevaron a cabo visitas periódicas al apiario del Campo Experimental de la FCA. Para ello se realizó la inspección de 12 colmenas durante los años 2019, 2022 y 2023. Se procedió a revisar cuidadosamente cada parte de las colmenas, como techos, entretapas, alzas, cámara de cría y piso. Las hormigas fueron colectadas manualmente con ayuda de una pinza, un cepillo, colocadas en frascos estériles.

Identificación taxonómica de las hormigas

En el laboratorio de Sanidad Apícola y Meliponícola de la Facultad de Ciencias Agrarias se procedió a realizar la identificación taxonómica de las muestras de hormigas en estudio, para ello se realizó la observación de los ejemplares bajo lupa estereoscópica (Arcano, aumento 4X). La determinación taxonómica se efectuó mediante claves de identificación de hormigas (Kusnezov, 1956, Mackay & Mackay, 2002, Fernández, 2003) y clave para las subfamilias y géneros (Palacio & Fernández, 2003).

Aislamiento e identificación de cepas bacterianas

Para el aislamiento de cepas bacterianas se realizaron macerados de los abdómenes de 5 ejemplares de hormigas de una misma especie en una solución de 1,5 ml de peptona al 10% en tubos Eppendorf, agitados en Vórtex por cinco minutos. Posteriormente se sembraron alícuotas de la solución (20 μ L), en Agar Nutritivo dispersándola con la espátula de Drigalski y se incubaron en estufa a temperatura de 37°C, y en medio MRS para el crecimiento de bacterias específicas como *Lactobacillus*. Todas las placas se incubaron en condiciones de microaerofilia a 37°C por 48 horas. Las colonias obtenidas fueron aisladas por la técnica de estrías e incubadas nuevamente a 30°C por 24 a 48 horas. Este procedimiento se repitió sucesivas veces hasta obtener cepas puras de las bacterias en estudio.

Obtenidas las cepas puras de bacterias se realizaron diferentes pruebas bioquímicas para su identificación, lo que permiten determinar las características metabólicas de las bacterias, según los protocolos de (Madigan *et al.*, 2000, Krieg & Holt, 1984). Las pruebas realizadas fueron tipo de respiración aeróbica o anaeróbica, resistencia al medio halófilo, reacción con la catalasa, crecimiento a diferentes temperaturas, crecimiento en presencia de almidón, coloración de Gram, presencia de endosporas, motilidad.

También se realizaron observaciones macroscópicas estableciendo la morfología de las colonias, pigmentación, entre otros y microscópicamente determinando las bacterias Gram Negativas, Gram Positivas, morfología celular individual de acuerdo con las claves del Manual de Determinación Bacteriológica de Bergey (Bergey & Holt, 1984).

El estudio microscópico se realizó observando al microscopio óptico con un aumento de 1000X con aceite de inmersión, preparados en fresco y también a partir de la tinción para revelar la forma, la manera de agruparse, la estructura y el tamaño de las células. Las tinciones utilizadas fueron azul de metileno, la tinción de Gram y verde de malaquita (Fernández Olmos *et al.*, 2010).

Evaluación de la actividad inhibitoria de bacterias frente a *Ascospshaera apis*

La cepa del hongo patógeno de abejas fue adquirida del cepario del Laboratorio de Sanidad Apícola y Meliponícola de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNJu. El aislamiento del hongo *A. apis* se realizó en un medio MY-20 con alto contenido de azúcar. Se incubó en condiciones microaerofílicas a una temperatura de $30^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 4 a 10 días. El crecimiento hifal suele ser visible a los 2 a 4 días (Jensen *et al.*, 2015). Las cepas puras de las bacterias aisladas de los intestinos de hormigas se enfrentaron con el hongo patógeno *Ascospshaera apis*.

Para cada una de las pruebas se colocaron 1 mL de una suspensión de 10^6 esporas fúngicas sobre el medio MY20 enfrentándolas con las cepas bacterianas, respectivamente. Se realizaron tres réplicas del ensayo, como control se utilizó el cultivo de la cepa fúngica pura. Las placas sembradas con las bacterias y *A. apis* se incubaron en condiciones microaerofílicas a una temperatura de 30°C por 10 días.

La actividad antagónica de las cepas bacterianas se determinó midiendo el diámetro de las colonias fúngicas en presencia de las bacterias a los 5 y 10 días. Así también se midió el diámetro de la colonia del hongo testigo. Con las mediciones obtenidas se procedió al cálculo del porcentaje de inhibición mediante la siguiente ecuación:

$$I = [(C-T) / C] * 100$$

Siendo: I la inhibición %, C el diámetro de las colonias testigo y T el de las colonias tratadas (Zamora Natera *et al.*, 2005).

Los resultados obtenidos de las pruebas de inhibición se analizaron estadísticamente mediante la prueba T de Student a partir del Software estadístico Infostat versión 2015 (Di Rienzo *et al.*, 2015).

RESULTADOS y DISCUSIÓN

Identificación taxonómica de las hormigas

Se determinó un total de tres especies de hormigas. Las especies identificadas fueron: *Camponotus substitutus* y *Camponotus crassus* y *Pheidole* spp.

Fotos 1: A, B y C



A. *Camponotus substitutus*



B. *Camponotus crassus*



C. *Pheidole* spp.

Identificación de bacterias

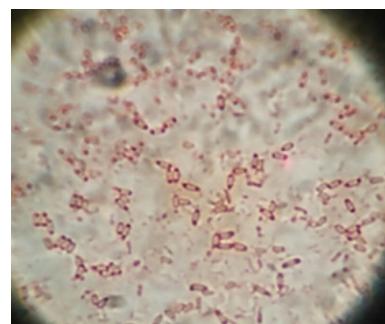
Las especies aisladas e identificadas de los abdómenes de las hormigas fueron *Clostridium* sp. y *Bacillus subtilis*. (Fotos A y B). Estas cepas crecieron en Medio Agar nutritivo. Las características morfológicas y bioquímicas de las especies identificadas se detallan en la **Tabla 1**.

No hubo crecimiento de lactobacilos y de otro tipo de bacterias lácticas en las placas con medio MRS.

Fotos 2: A, B



A. *Clostridium* sp.



B. *Bacillus subtilis*

Tabla 1: Pruebas de Determinación bacteriológica

SEÑALIZACION DE LA CEPA	AN1	AN2
Especies	<i>Clostridium</i> sp.	<i>Bacillus subtilis</i>
Aislado de especie de hormiga	<i>C. crassus</i>	<i>C. substitutus, Pheidole</i> sp.
Morfología individual	Bacilos	Bacilos
Respiración aeróbica	No presentan	Si presentan
Resistencia al medio halófita %NaCl	Restringido	Negativo
Reacción con catalasa	Negativo	Positivo
Color de la colonia	Blanquecino	Blanquecino
Crecimiento a diferentes temperaturas		
5°C	Crecimiento leve	Crecimiento leve
60 °C	Negativo	Negativo
Endosporas	Presentes	Presentes
Crecimiento en almidón	Crecimiento leve	Invade placa
Motilidad	Si presentan	Si presentan
Coloración de Gram	Positiva	Positiva

Pruebas de inhibición del crecimiento de *Ascospaera apis*

Los porcentajes de inhibición de *Ascospaera apis* frente a *Bacillus subtilis* y *Clostridium* sp. fueron del 99,7% a los 5 días de incubación y alcanzaron casi un 100% del crecimiento e invasión de las cepas bacterianas en las superficies de las placas. Por ello, todas las pruebas realizadas y medidas con ambas cepas bacterianas fueron mayores al 99% de inhibición, manteniéndose los mismos porcentajes y medidas de los diámetros de los hongos a los 10 días de incubación. Los diámetros de *A. apis* fueron relativamente mayores frente a *Bacillus subtilis*, siendo que se presentaron menores diámetros de las colonias y mayor inhibición frente a *Clostridium* sp. (Tabla 2)

Tabla 2: Porcentaje (%) de inhibición de *Ascospaera apis* enfrentadas con *Bacillus subtilis* y *Clostridium* sp.

% de inhibición	<i>Ascospaera apis vs B. subtilis</i>	<i>Ascospaera apis vs Clostridium sp.</i>
	AN2As1	AN1As1
5 días	99,7	100
5 días	99,9	100
5 días	99,9	100
5 días	99,9	100
5 días	99,7	99,9
5 días	99,7	99,9
5 días	100	100
5 días	100	100
10 días	99,7	100
10 días	99,9	100
10 días	99,9	100
10 días	99,9	100
10 días	99,7	99,9
10 días	99,7	99,9
10 días	100	100
10 días	100	100

De acuerdo con el análisis estadístico no se observó diferencias significativas entre los diámetros de las colonias del hongo, se observa que *Ascospaera apis* frente a la bacteria *Bacillus subtilis* y frente a *Clostridium* spp. evidencia una marcada reducción en el crecimiento de la colonia, ambas bacterias inhiben el crecimiento de *A. apis*.

DISCUSIÓN

A partir del estudio realizado en el Apiario del campo Experimental “Dr. Emilio Navea” de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de Jujuy, se reconfirma la presencia de especies de hormigas en colmenas de *Apis mellifera* y sus cercanías en la zona de los valles. Las especies identificadas corresponden a *Camponotus substitutus*, *Camponotus crasus* e individuos pertenecientes a *Pheidole* spp. Lo que coincide con lo reportado por (Ruiz & Benítez Ahrendts, 2018). Estas especies corresponden a algunas de las especies más comunes y frecuentes en apiarios de acuerdo con registros anteriores de los Valles de Jujuy (Ruiz, 2022).

A partir de la identificación y análisis realizados de las bacterias presentes en los abdómenes de hormigas que anidan en colmenas y en cercanías del apiario, se determinó que las especies bacterianas aisladas más frecuentes fueron *Bacillus subtilis* y *Clostridium* sp., obtenidas mediante numerosas pruebas según los protocolos de Madigan *et al.*, 2000, Krieg y Holt, 1984 y utilizando claves diagnósticas de acuerdo con el Manual de Bergey. Este resultado coincide con otros autores que han aislado e identificado bacterias de las hormigas de los géneros tales como *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Stafylococcus*, *Streptococcus*,

entre otros (Chadee & Le Maitre, 1990, Simothy *et al.*, 2018).

Los resultados obtenidos de las pruebas para determinar la actividad inhibitoria de ambas cepas bacterianas en estudio evidencian un efecto antagónico al enfrentarlos con un hongo patógeno de abejas inhibiendo su crecimiento en un grado elevado. Lo que coincide con autores que destacan a estas bacterias como inhibidoras de crecimiento de algunos hongos y/o bacterias patógenas (Rodas Junco *et al.*, 2009, Pérez *et al.*, 2015). La mayor actividad antagónica de los aislados bacterianos frente a *A. apis* se obtuvieron en el menor tiempo probado (cinco días), lo que podrían estar relacionado con la disminución de la producción de metabolitos antifúngicos por parte de estos aislados y/o con la producción de compuestos por parte del hongo que inhiban el crecimiento bacteriano (Sadfi *et al.*, 2002). Esto está relacionado con el hecho de que, durante los primeros días del cultivo dual, las bacterias ejercen un fuerte efecto antagónico sobre los hongos patógenos, por su alta velocidad de crecimiento, lo que les permite alcanzar rápidamente el estado estacionario y comenzar a producir metabolitos secundarios con actividad antifúngica y finalmente colonizar el medio de cultivo (Madigan *et al.*, 2003). Los hongos podrían iniciar la producción de metabolitos que contrarresten el efecto producido por las bacterias antagonistas y/o los metabolitos bacterianos en el tiempo (Tejera *et al.*, 2012), sin embargo, en el periodo analizado de las pruebas, los hongos no lograron contrarrestar a las bacterias, que colonizaron rápidamente las placas, lo que explicaría los resultados obtenidos.

Numerosos trabajos reportan el aislamiento y caracterización de metabolitos antifúngicos provenientes de cepas de *Bacillus* spp. (Leifert *et al.*, 1995). En el género *Bacillus* existen aislados capaces de suprimir el crecimiento fúngico in vivo por la producción de uno o más antimicóticos (Fassouane *et al.*, 1995). Los antibióticos producidos in vitro son compuestos responsables del biocontrol in vivo, por cuanto se ha demostrado que algunas cepas productoras de antibióticos son capaces de suprimir enfermedades fúngicas en plantas (Ferreira *et al.*, 1991). En general, *B. subtilis* fue muy eficiente en la inhibición de *A. apis*, en concordancia con reportes de las bacterias *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* y *Bacillus circulans* como microorganismos asociados con abejas melíferas y con la capacidad para inhibir el crecimiento de *A. apis* (Reynaldi *et al.*, 2004).

Estos resultados evidencian el potencial de las diferentes especies de bacterias para el control de numerosos hongos, el cual ha sido reportado por Ongena *et al.*, 2005, Wang *et al.*, 2007 y Ghasemi *et al.*, 2010. Es decir que, presentan un uso potencial como control biológico frente a enfermedades que afectan la sanidad de las abejas (Groot *et al.*, 2018), como la enfermedad infecciosa Ascosferosis que atacan a las larvas en desarrollo (Flores Serrano *et al.*, 2006), que afectan la producción de miel y en ciertos casos ocasionan la pérdida de la colonia, sino se controlan adecuadamente (Uc Várguez & Ramos Diaz, 2016).

CONCLUSIONES

Las cepas bacterianas aisladas de los intestinos de las hormigas pueden inhibir ciertos microorganismos patógenos de las abejas. Los antagonistas analizados resultan de importancia para establecer su posible uso como control biológico frente a enfermedades de las abejas. Los datos obtenidos aportan información a futuros estudios sobre las interacciones entre microorganismos aislados de los intestinos de hormigas asociadas a colmenas y los microorganismos patógenos de abejas, dando lugar al desarrollo de estrategias para un control futuro de enfermedades que implique la aplicación directa de un agente de control biológico. Además, los resultados obtenidos aportan conocimiento taxonómico de las especies de hormigas que anidan en colmenas y que se encuentran en sus cercanías, la importancia y relación con las abejas, la identificación taxonómica de bacterias asociadas a sus intestinos capaces de inhibir hongos patógenos, brindando un aporte principalmente a los pequeños apicultores de la provincia en el manejo de estos insectos en las colmenas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aronstein, K.A., Murray, K.D. (2010). Chalkbrood disease in honey bees. *Journal of Invertebrate Pathology* 103: pp.20-29.
- Audisio, M.C., Torres, M.J., Sabaté, D.C., Ibarguren, C., Apella, M.C. (2011). Properties of different lactic acid bacteria isolated from *Apis mellifera* L. bee-gut. *Microbiological Research* 1: pp.1-13.
- Benítez Ahrendts M.R., Flores Serrano J.M., Carrillo L. (2015). Diagnóstico Precoz de *Nosema* y *Ascospaera*. Facultad de Ciencias Agrarias UNJu-Dpto. de Veterinaria-Universidad de Córdoba-España.
- Bergey, D. H., Holt, J.G. (1984). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Baltimore.
- Chadee, D.D., Le Maitre, A. (1990). Hormigas: vectores mecánicos potenciales de infecciones hospitalarias en Trinidad. *Transaction of the Roy Society of Tropical Medicine and Hygiene* 84: p.297.
- Collantes, R., Del Cid, R. (2022). Artrópodos plaga de las abejas (*Apis mellifera* L.). Proyecto de Investigación e Innovación Apícola de Panamá. IDIAP, Centro de Innovación Agropecuaria Genéticos, Río Hato de Recursos.
- Correa Benítez A. (2015). Enfermedades micóticas y virales de la cría. En: Guzmán-Novoa E, Correa Benítez A, editores. *Patología, diagnóstico y control de las principales enfermedades y plagas de las abejas melíferas*. México: Editorial Yire pp. 37-48.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M., Robledo C.W. (2015). InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- EEA INTA Bordenave, (2012). Repositorio Institucional, Biblioteca Digital. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/20>.
- Engel, P., Martinson, V. G., Moran, N. A. (2012). Functional diversity within the simple gut microbiota of the honey bee. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(27): pp. 11002-11007.
- Enzmann, J. (1947). Ants associated with apiaries in the New England States. *J NY Entom Soc* 55(3): pp.219-222.
- Fassouane A., Rachidi M., Rouffaud M., El-Abouyi A., Nguyen V. (1995). In vitro antifungal activity of *Bacillus licheniformis* FSJ-2 products against dermatophytes. *J Mycol Med* 5: p. 2448.
- Fernández F. (2003). Introducción a las Hormigas de la Región Neotropical. Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Bogotá, Colombia p. 398.
- Fernández Olmos, A., García de la Fuente, C., Saéz Nieto, J.A., Valdezate Ramos, S. (2010). Métodos de Identificación Bacteriana en el Laboratorio de Microbiología. Recomendaciones de la Sociedad Española de Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica.
- Ferrari, C.A. (2011). La Apicultura Argentina y sus regiones. Una visión panorámica. 1a ed. Buenos Aires: Consejo Federal de Inversiones pp.13-19.
- Ferreira, J., Matthee, F., Thomas, A. (1991). Biological control of *Eutypata lata* on grapevine by an antagonistic strain of *Bacillus subtilis*. *Phytopatol* 81: pp. 283-7.

- Flores-Serrano, J.M., Padilla-Álvarez, F., Pérez-Ruiz A. (2006). Cuidado con el pollo escayolado. *El Colmenar* 84: pp.22-28.
- Gallego Ropero, M.C., Feitosa, R.M., (2014). Evidencias de mimetismo batesiano y parabiosis en hormigas de la sabana brasileña. *Sociobiology* 61 (3): pp.281-285.
- Garibaldi, L., Steffan Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M., Bommarco, R., Cunningham, S., et al. (2013). Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bee Abundance. *Science* 339(6127): pp.1608-1611.
- Ghasemi, S., G. Almadian, N. Jelodar, H. Rahimian, S. Ghandi li, A. Dehestani, P. Shariati. (2010). Antifungal chitinases from *Bacillus pumilus* SG2: preliminary report. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 26: pp.1437-1443.
- Groot, G., Mayoral, A., Huerta, G. (2018). ¿Cómo prevenir Loque americana en nuestras colmenas? *Revista Presencia* 69: pp.31-35.
- Gutiérrez M., Zaragoza C., Pérez, A. (2012). Manual de apicultura. Universidad Autónoma-Chapingo 3.
- Hurwitz I., Hillesland H., Fieck A., Das P., Durvasula R. (2011) The paratransgenic sand fly: A platform for control of *Leishmania* transmission. *Parasites and Vectors* 4(1): p. 82.
- Jensen, A.B., Aronstein, K., Flores, J.M., Vojvodic, S., Palacio, M.A., Spivak, M. (2015). Standard methods for fungal brood disease research. *Journal of Apicultural Research* 52(1): pp.1-20.
- Krieg, N.R., Holt, J.G. (1984). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Williams y Wilkins, Baltimore, Londres pp.11-596.
- Kusnezov, N. (1956). Claves para la identificación de las hormigas de la fauna argentina. IDIA, Min. Agrícola Ganadero Argentino104-105: pp. 1-56.
- Leifert, C., Li, H., Chidburee, S., Hampson, S., Workman, S., Sigee, D., et al. (1995). Antibiotivity production and biocontrol activity by *Bacillus subtilis* CL27 and *Bacillus pumilus* CL45. *J Appl Bact*; 78: pp.97-108.
- León, S., Gil, S., Flores, J. M., Padilla, F., Campano, F. (2011). Colmenas con fondos de malla en clima cálido. *Vida Apícola* 167: pp.21-25.
- Mackay, W. P., Mackay, E.E. (2002). The ants of New Mexico (Hymenoptera: Formicidae). United Kingdom. United States of America p.408.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Parker, J.B. (2000). Biología de los microorganismos. 8^a edición. Prentice Hall. Madrid p.986.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Parker, J.B. (2003). *Brock Biology of Microorganism*. 10th edition, Prentice Hall, New Jersey pp.138-148.
- Maggi, M.D., Negri, P., Plischuk, S., Szawarski, N., De Piano, F., De Feudis, L., Egularas, M.J., Audisio, M.C. (2013). Effects of the organic acids produced by a lactic acid bacterium in *Apis mellifera* colony development, *Nosema ceranae* control and fumagillin efficiency. *Veterinary Microbiology*. 167: pp.474-483.
- Oi, D., Pereira, R. (1993). Ant behavior and microbial pathogens (Hymenoptera: Formicidae). *Florida Entomologist*. 76: pp.63-74.

- Ongena, M., Jaques, P., Toure, Y., Destain, J., Jabrane, A., Thonart, P. (2005). Involvement of fengycin-type lipopeptides in the multifaceted biocontrol potential of *Bacillus subtilis*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 69: pp.29-38.
- Palacio, E.E., Fernández, F. (2003). Capítulo 15. Clave para las subfamilias y géneros. Págs. 233 260. En: *Introducción a las hormigas de la región Neotropical*. Fernández, F. (ed.). Bogotá, Colombia. Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Pérez, Á., Coto, A., Echemendía, P., Ávila, Q.G. (2015). *Pseudomonas fluorescens* Migula, ¿control biológico o patógeno? *Rev. Protección Veg.* 30(3): pp.225-234.
- Porrini, M.P., Audisio, M.C., Sabaté, D.C., Ibarguren, C., Medici, S.K., Sarlo, E.G., Garrido, P.M., Egúaras, M.J. (2010). Effect of bacterial metabolites on microsporidian Nosema ceranae and on its host *Apis mellifera*. *Parasitology Research* 107: pp.381-388.
- Portillo, A., RuizArrondo, I., Oteo, J.A. (2018). Artrópodos vectores en España y sus enfermedades transmisibles. *Med Clin (Barc.)* 151(11): pp.450-459.
- Poveda J., (2019). Los microorganismos asociados a los insectos y su aplicación en la agricultura. Vol. 20, Núm. 1 Enero - Febrero 2019. Revista digital universitaria.
- Reynaldi, F.J., De Giusti, M.R., Alippi, A.M. (2004). Inhibition of the growth of *Ascospaera apis* by *Bacillus* and *Paenibacillus* strains isolated from honey. *Revista Argentina de Microbiología.* 36(1): pp.51-55. <http://www.scielo.org.ar/pdf/ram/v36n1/v36n1a11.pdf>.
- Ritter, W. (2001). Enfermedades de las Abejas. Editorial Acribia S.A., Zaragoza, España p.146.
- Rodas-Junco, B.A., Magaña-Sevilla, H.F., Tun-Suárez, J.M., Reyes-Ramírez, A. (2009). Antifungal activity in vitro of native *Bacillus* sp. strains against *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. *Research Journal of Biological Sciences* 4(9): pp.985-989.
- Ruiz, G.B., Retamoso, R.M., Benítez Ahrendts, M. (2021). *Bacillus subtilis* aislada de cutículas de hormigas que anidan en colmenas como antifúngico de hongos patógenos de abejas. *Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia* (2021) 37(3): pp.270-276.
- Ruiz, G., Benítez Ahrendts, M. (2018). Registro de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) presentes en apiarios de *Apis mellifera* de los Valles Templados de la provincia de Jujuy-Argentina. *Journal of the Selva Andina. Research Society*; 9(2): pp.113-119.
- Russell J.A., Funaro C.F., Giraldo Y.M., Goldman-Huertas B., Suh D., Kronauer D.J.C. 2012. Una verdadera colección de bacterias hereditarias de hormigas, mariposas y más allá: amplias encuestas moleculares y una revisión sistemática. *PLoS ONE* 7 (12): e51027. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051027>.
- Sadfi, N., Cherif, M., Hajlaoui, M.R., Boudabbous, A., Belanger, R. (2002). Isolation and partial purification of antifungal metabolites produced by *Bacillus cereus*. *Ann. Microbiol.* 52: pp.323-338.
- Shu, Q., Amber, G., Geoffrey, G., Malcolm, K. (2010). Heme and blood-feeding parasites: friends or foes? *Parasites and Vectors* 3: p.108.
- Simothy, L., Mahomoodally, F., Neetoo, H. (2018). Un estudio sobre el potencial de las hormigas para actuar como vectores de patógenos transmitidos por los alimentos. *Microbiología de* 333. <https://doi.org/10.1016/j.mic.2018.01.012>

doi.org/10.3934/microbiol.2018.2.319 AIMS 4(2): p.319

Tejera, B., Heydrich, M., Rojas, M. (2012). Antagonismo de *Bacillus* spp. frente a hongos fitopatógenos del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) Rev. Protección Vegetal 2: pp.117-122.

Uc-Várguez, A., Ramos-Díaz, A. (2016). Principales problemas sanitarios y errores comunes en la producción de miel de abejas (*Apis mellifera*). Producción y comercialización de miel y sus derivados en México: Desafíos y oportunidades para la exportación. CIATEJ. pp.54-67.

Vásquez Bolaño, M. (2015). Taxonomía de Formicidae (Hymenoptera) para México. Métodos en Ecología y Sistemática 10 (1): pp.1-53.

Vicente Rubiano, M. (2016). Tesis Doctoral. Análisis virológico y epidemiológico del síndrome de despoblamiento de las colmenas en España. Estudio de causas y consecuencias. Universidad Complutense de Madrid. España.

Wang, L.T., Lee, F.L., Tai, C.J., Kasai, H. (2007). Comparison of *gyrB* gene sequences, 16S rRNA gene sequences and DNA-DNA hybridization in the *Bacillus subtilis* group. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology; 57: pp.1846-50.

Zamora-Natera, J.F., Bernal-Alcocer, A., Ruiz-López, M., Soto-Hernández, M., Escalante-Estrada, A., Vibrans-Lindemann, H. (2005). Perfil de alcaloides de semillas de *Lupinus exaltatus* Zucc. (Fabaceae) y la evaluación antifúngica del 120 extracto alcaloideo y lupanina contra fitopatógenos. Revista Mexicana de Fitopatología 23(2): pp.124-129.

COMUNICACIÓN

ANÁLISIS DEL AVANCE DE LA FRONTERA AGROPECUARIA DEBIDO A LA DEFORESTACIÓN Y SUS CONSECUENCIAS EN LA ZONA DE PALMA SOLA- JUJUY, ARGENTINA- DURANTE EL PERÍODO (1990-2015)

ANALYSIS OF THE AGRICULTURAL FRONTIER ADVANCEMENT DUE TO DEFORESTATION AND ITS CONSEQUENCES IN PALMA SOLA- JUJUY, ARGENTINA- DURING 1990-2015

Céspedes, S. 1*, Caihuara, H. Z. 2

¹ Cátedra de Aprovechamiento Forestal. Sede San Pedro. Facultad de Ciencias Agrarias, UNJu; ² Centro Científico Tecnológico. CONICET Salta-Jujuy

*Autor para correspondencia:
silviacespedes@fca.unju.edu.ar

Período de Publicación:
Julio

Historial:

Recibido: 25/11/24
Aceptado: 20/03/25

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo exponer el notable avance del modelo agrícola productivo y su impacto socioeconómico y ambiental, ocurrido entre la década de 1990 y 2015, especialmente en la zona de Palma Sola (Yungas). En este período, dicho modelo se expandió considerablemente con el cultivo de soja, que creció de 5 millones a 20 millones de hectáreas entre los años 1990 y 2015. La metodología aplicada sigue un enfoque cualitativo, mediante la recopilación de material bibliográfico de diversas fuentes (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, imágenes satelitales, entre otras), así como reproducciones de videos sobre los actores sociales de la región, particularmente los campesinos. Según la información obtenida, se realizó un análisis de los datos, que concluyó que la principal causa de la deforestación en la zona se debe al avance acelerado de la frontera agropecuaria, fenómeno que tuvo lugar con gran intensidad en la década de 1990 (conocido como "pamperización"). Este cambio en la estructura agrícola provocó graves consecuencias ecológicas y sociales, tales como la erosión del suelo, la contaminación del aire, agua y suelos, la pérdida de biodiversidad, la concentración del uso de la tierra y de los recursos, así como alteraciones en los patrones de migración rural-urbana. Este trabajo representa una valiosa contribución para entender la situación actual de los desmontes en Palma Sola (Jujuy) y sus repercusiones socioeconómicas y ambientales.

Palabras claves: pérdida de la biodiversidad, actores sociales, pamperización

SUMMARY

This paper aims to present the remarkable progress of the agricultural production model and its socioeconomic and environmental impact, which occurred between the 1990s and 2015, particularly in the Palma

Sola region (Yungas). During this period, the model expanded considerably with soybean cultivation, which grew from 5 million to 20 million hectares between 1990 and 2015. The methodology applied follows a qualitative approach, compiling bibliographic material from various sources (Ministry of Environment and Sustainable Development, satellite images, among others), as well as video reproductions of social actors in the region, particularly farmers. Based on the information obtained, a data analysis was conducted, concluding that the main cause of deforestation in the area is due to the accelerated agricultural frontier advancement, a phenomenon that occurred with great intensity in the 1990s (known as "pamperizacion"). This change in the agricultural structure led to serious ecological and social consequences, such as soil erosion, air, water, and soil pollution, biodiversity loss, land and resource concentration, and alterations in rural-urban migration patterns. This work represents a valuable contribution to understanding the current deforestation situation in Palma Sola (Jujuy) and its socioeconomic and environmental impacts.

Keywords: loss of biodiversity, social actors, pamperization

INTRODUCCIÓN

La deforestación es el proceso de pérdida de las masas boscosas por causas naturales o por la acción antrópica, y trae consecuencias negativas en los aspectos socio-económico, político y ambiental. Este proceso de deterioro ambiental se debe principalmente a la expansión de la empresa agropecuaria durante las últimas décadas, a la urbanización sin planificación y la extracción de los recursos naturales de manera no sostenible entre otros, contribuyendo a la degradación de las funciones ecosistémicas y la pérdida del potencial productivo de los bosques nativos, poniendo en peligro innumerables especies y a nosotros mismos. Rodríguez Becerra y Espinoza (2002), "La deforestación se produce fundamentalmente como consecuencia directa de la habilitación de tierras para las actividades agropecuarias, de la construcción de infraestructura, del aumento de los incendios y del aprovechamiento forestal" (p.19). Pereyra, A y Batalla, M.R. (2014) manifiestan que las actividades económicas, la expansión humana, el crecimiento demográfico, la expansión de la frontera agropecuaria, las actividades extractivas, la deforestación la degradación ambiental producto de distintas actividades primarias y secundarias repercuten en el ambiente y generan alteraciones. Los desmontes son una de las principales fuentes del calentamiento global, puesto que representan entre el 18% y el 30 % de los 1.600 millones de toneladas de gases de efecto invernadero (GEI) que anualmente el planeta libera a la atmósfera (FAO, 2007). Por otro lado, Kamal Tolba (1982) señala que la presión por expandir el área destinada a la agricultura ha producido serios perjuicios ambientales, ha producido graves erosiones en los suelos, la deforestación está contribuyendo a una mayor frecuencia y abundancia de las inundaciones, por todo ello la administración racional de la tierra arable se ha convertido en un factor cada vez más crítico para la supervivencia de la humanidad. Rodríguez Becerra y Espinoza (2002) manifiestan que el declive de la biodiversidad, en buena parte, es originado por la deforestación y la contaminación de las aguas, es hoy la principal amenaza ambiental en la región. Entre los mayores problemas se mencionan la fragmentación y destrucción de ecosistemas, el creciente número de especies amenazadas y la erosión genética tanto en las zonas naturales como en los agros ecosistemas. Es decir, la presión constante que se ejerce cuando el ser humano no logra satisfacer sus necesidades básicas puede incluso llegar a destruir el recurso base que el hombre debe obtener su sustento. La deforestación, el deterioro de la tierra cultivable, y la permanente presión sobre los ecosistemas frágiles debidos a la pobreza, ambos llevan a un rápido agotamiento de los recursos básicos naturales. (Kamal Tolba, 1982).

En este mismo escenario la cubierta forestal natural sigue disminuyendo en América Latina y El Caribe, y entre 1990 y 1995 se perdieron un total de 5.8 millones de ha al año, durante 1980 y 1990 la cobertura forestal de la región disminuyó un 61 millón ha. En Argentina el proceso de deforestación se aceleró hacia fines de la década de los noventa y principios del siglo XXI, principalmente a causa de la expansión de la agricultura desde la Región Pampeana hacia el Parque Chaqueño. Según Núñez, como se citó en Reboratti (2010), en las Yungas la expansión de la agricultura afectó el 90% de los bosques nativos y selvas pedemontanas, reduciendo los contactos Yungas-Chaco al 16% de su extensión original. Primero fue el cultivo de caña de azúcar el que avanzó sobre los bosques pedemontanos, a partir de la década del 80 el proceso de transformación se aceleró de la mano del cultivo de soja a una taza de 10.000 hectáreas de selva pedemontana transformada por año. En efecto, el surgimiento de la soja transgénica junto con la aparición de la siembra directa asociada a otros paquetes tecnológicos, aumentó la rentabilidad de este cultivo y su potencial para expandirse a tierras consideradas previamente marginales para la producción agrícola. La expansión de la agricultura pampeana desplazó la ganadería hacia áreas marginales. La disponibilidad de especies de pasturas megatérmicas de crecimiento estival, muy alta productividad y muy resistentes a la sequía, contribuyó en ampliación e intensificación de la producción ganadera en la región chaqueña. Debido a la “pamperización”, el modelo sojero se extendió rápidamente en zonas que eran marginales para la siembra de soja, lo que llevó a la deforestación y a la degradación del ambiente. Pengue (2008) y Reboratti (2010) definen como “pamperización” al avance de la frontera agraria sobre los bosques nativos a partir del cambio en los modelos de producción y el monocultivo. Estas prácticas proporcionan diversos impactos negativos sobre el ambiente y los grupos sociales, entre los que se destacan migraciones, conflictos con la tierra, la lucha de pueblos originarios, la deforestación con su pérdida de la biodiversidad, la degradación del suelo por el monocultivo y la contaminación por agroquímicos entre otros. De acuerdo a Núñez como citó en Reboratti, (2010), “En su expansión hacia el norte fue desplazando actividades relacionadas con otros modelos productivos, destruyendo los bosques nativos y biodiversidad, ocasionando profundas transformaciones en la dinámica territorial en todas sus dimensiones (social, cultural, política, económica y ambiental)”.

La escala de análisis seleccionada para nuestro estudio de caso será a nivel regional. “Localidad de Palma Sola” que pertenece al departamento de Santa Bárbara-Jujuy-Argentina, ubicada en el distrito de selva de baja montaña o Transición (Yungas-Chaco). Siendo la más propensa y la más afectada al avance de la frontera agropecuaria, para la expansión/introducción de cultivos extensivos como ser caña de azúcar, soja (monocultivos). Siendo las principales actividades: la explotación maderable, la ganadería bovina y la citricultura (naranja, limón, pomelo y mandarina), además de cultivos de mangos, banana, maracuyá, entre otros cultivos. Limita con los municipios de Vinalito, El Piquete y El Fuerte; se encuentra a una altitud de 689 m.s.n.m, siendo sus coordenadas 23° 58' 41" S, 64° 18' 13" W, siendo una zona muy rica en diversidad biológica, donde actualmente viven desde hace más de 100 años comunidades de campesinos, generalmente viven de los beneficios (madereros y no madereros) que brinda el bosque nativo. Esto lleva a varios conflictos e intervienen, varios, actores sociales en la problemática. A partir de los avances técnicos-científicos ocurridos en Argentina en la década del 90', el país se apega a un modelo capitalista (presidencia de Menem), ocasionando cambios de reformas y privatizaciones, dando lugar a modificaciones en la estructura agraria produciéndose la desarticulación familiar (migración, pérdida de trabajo etc.), efectos negativos en la salud de la población y en particular la de los campesinos; el ambiente entre otras, llevando a la “pamperización”, se empezó a instalar el cultivo de soja en la zona, con el uso del paquete tecnológico, esto es: uso de semillas transgénicas, siembra directa, maquinaria de precisión, etc. a cargo de la empresa de agronegocios CRAMSSA. En este mismo escenario, debido a los cambios técnicos, científicos y la rentabilidad del cultivo de soja, en la década del 1990 del siglo pasado, el modelo sojero se extendió rápidamente a lo largo del país a una tasa creciente. En la provincia de Jujuy la expansión sojera se produjo en dos zonas agroeconómicas distintas a partir del 1998, como ser el Umbral al Chaco (Santa Bárbara) y los Valles de producción intensiva (valle de los Pericos). En el Departamento de Santa Bárbara la superficie sembrada aumentó considerablemente, en la campaña 2001-2002 la superficie sembrada fue de 770 ha, mientras que en la campaña 2008-2009 la superficie sembrada llegó a 8.088 ha, aumentando en forma abrupta (Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible, 2018).

En el año 2007, comenzaron los desmontes y la introducción del cultivo de soja, con una intensificación en las presiones ejercidas por la empresa hacia los pobladores de la finca. A raíz de estos conflictos se formó la Organización Campesina Agro-Ganadera de Palma Sola (OCA), estas familias están siendo apoyadas por otras organizaciones y movimientos sociales. Al mismo tiempo, la población que reside en la localidad de Palma Sola y en otros parajes rurales no se veía identificada, con las familias ganaderas ya que las mismas habían sido estigmatizadas como ilegales usurpadoras de los terrenos. Pero debido al -acelerado- avance de los desmontes, a la pérdida de la biodiversidad, a los problemas de contaminación debido a las constantes pulverizaciones de fitosanitarios y a los problemas de salud que estos ocasionaban en extensas aéreas que cubrían límites fuera de fincas en disputa; afectaban, además - y muchas veces- a otras fincas aledañas del departamento (Santa Bárbara), esto pasó a hacer un tema en común para la localidad de Palma Sola. Las familias organizadas en la OCA junto con otras instituciones del pueblo como el “Centro Integrador Comunitario” de Palma Sola (CIC); dieron mucha importancia a los aspectos ambientales como prioritarios para las comunidades. Debido a la falta de respuestas del municipio y el gobierno provincial, en el año 2010 se realizó un amparo ambiental colectivo (que contempla a toda la zona del departamento de Santa Bárbara) y una medida cautelar ante la provincia para lograr frenar el avance de la deforestación y prohibir el uso de pulverizaciones de fitosanitarios (llamadas fumigaciones). Debido a las irregularidades del plan de ordenamiento territorial de bosque nativos (POTBN) que fue aprobado en la provincia de Jujuy, ya que no se respetaron las instancias de consultas y audiencias públicas necesarias para elaborar un plan consensuado, que hace referencia la Ley N°26.331 “Bosques Nativos”; algunos acontecimientos se desarrollaron con ayuda del gobierno debido a intereses políticos y demás, estos aprobaron la deforestación de la empresa agrícola de más de 1.470 has, en la localidad, esto provocó un gran resentimiento en la sociedad, llevando la causa hasta la corte suprema de justicia de la Nación en las cuales, que notó las irregularidades del POTBN realizado por la Provincia de Jujuy y frenó las deforestaciones en el 2017.

METODOLOGÍA

El presente trabajo se realizó mediante un enfoque cualitativo; se considera la más apropiada para interpretar los pensamientos, sentimientos y vivencias de los actores sociales, es decir la investigación cualitativa trata de comprender a las personas dentro del marco de referencia de ellos mismos. Para el desarrollo de este trabajo de investigación se procedió a recopilar informaciones de diversas fuentes bibliográficas; entre las más relevantes se encuentran el Ministerio de Ambiente de la Provincia de Jujuy e imágenes satelitales de la plataforma Google Earth, entre otras. Los datos relevados permitieron desarrollar cuadros de análisis, marcos conceptuales y gráficos en Excel; útiles para la confección de una reflexión o conclusión sobre el problema.

RESULTADOS



Figura 1: Zona en estudio Palma Sola- Santa Barbara-Jujuy.

Tabla 1: Superficie sembrada con soja en (ha) por departamento y por campaña (Informes Pro.Re.NOA, INTA)

Campaña de soja/has/d ptos.	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009
Santa Barbara	-----	770	2.370	1.870	1.740	1.140	5.390	5670	5800
San Pedro	-----	-----	-----	540	540	1400	2100	830	1700
Ledesma	-----	-----	-----	-----	30	950	190	-----	190
El Carmen	-----	-----	-----	-----	880	-----	2.500	1.550	210
San Antonio	-----	-----	---	---	1.150	380	1.610	1.260	520
Capital	---	---	---	60	140	---	200	130	---
Palpala	---	-----	-----	---	590	100	130	320	40
Total	---	770	2.370	2.470	5.070	3.970	12.120	9.760	8.880

**Figura 2:** Superficie sembrada de soja Jujuy-Santa Barbara. (Informes Pro.Re.NOA, INTA)**Tabla 2:** Superficie deforestada de Bosques Nativos (ha). Provincia de Jujuy, período 1998-2016 (Informes Pro.Re. NOA, INTA 1998-2016).

Provincia	1998-2002	2002-2006	2006-2011	2011-2013	2014	2015	2016	TOTAL	
								1998-2016	
Jujuy	7.266	12.925	16.669	9.082	1.492	3.143	623	51.200	

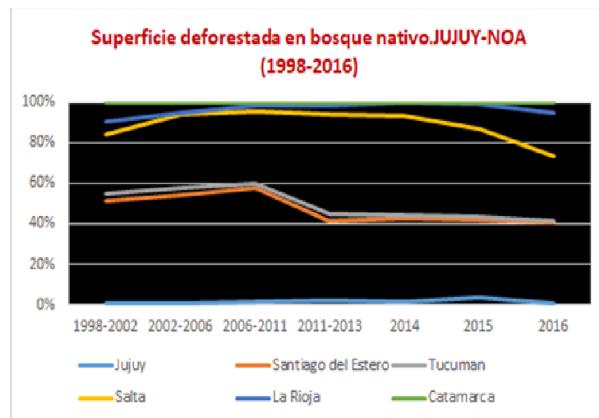


Figura 3: Superficie deforestada (Datos del MAY DS 1998-2016).

A modo de resumen planteamos la siguiente tabla y el mapa conceptual, con el objetivo de sintetizar los eventos ocurridos a través de un enfoque histórico- ambiental sobre la problemática en estudio Palma Sola-Santa Bárbara-Jujuy Argentina:

Tabla 3: Acontecimientos relevantes desde 1970 a 2017 (Fuente: MAYDS y DAYS)

AÑO	ACONTECIMIENTOS IMPORTANTES
1970	El mundo pasa por transformaciones de la estructura agraria y cambios políticos debido a la revolución verde.
1990	“Modelo capitalista” (Menem). Interacción de diversos factores como ser técnicos-científicos, política del gobierno, la sociedad, entre otros. Se introduce el cultivo de soja (monocultivo) en el país.
1998	El cultivo de soja entra a la región Umbral al Chaco (Santa Bárbara-Oran). cambiando la estructura agraria “desarticulación de la agricultura familiar”, se produce perdida de la diversidad cultural, pérdida de la mano de obra, degradación ambiental, entre otros.
2001-2002 2008-2009	Aumenta la superficie sembrada considerablemente 770 ha a 5800 ha
2005-2011	Se intensifica el territorio desmontado y se produce contaminación, problemas de salud debido a las reiteradas fumigaciones. Dando un pico de superficie deforestada en el año 2007
2010	Se realizó un amparo ambiental colectivo (entre todo el departamento de Santa Bárbara) debido a los daños ambientales.
2016	Se reduce la superficie desmontada (por la ley de Bosque Nativo 26.331)
2017	Intervención de la Corte Suprema de la Nación, frena los desmontes por irregularidades en el POTBN
2018-2019	Aumenta la superficie sembrada (en la provincia Valle de los Pericos y Umbral al Chaco)

Fuente: elaboración propia con datos de diversas fuentes consultadas (MAYDS Y SAYDS)

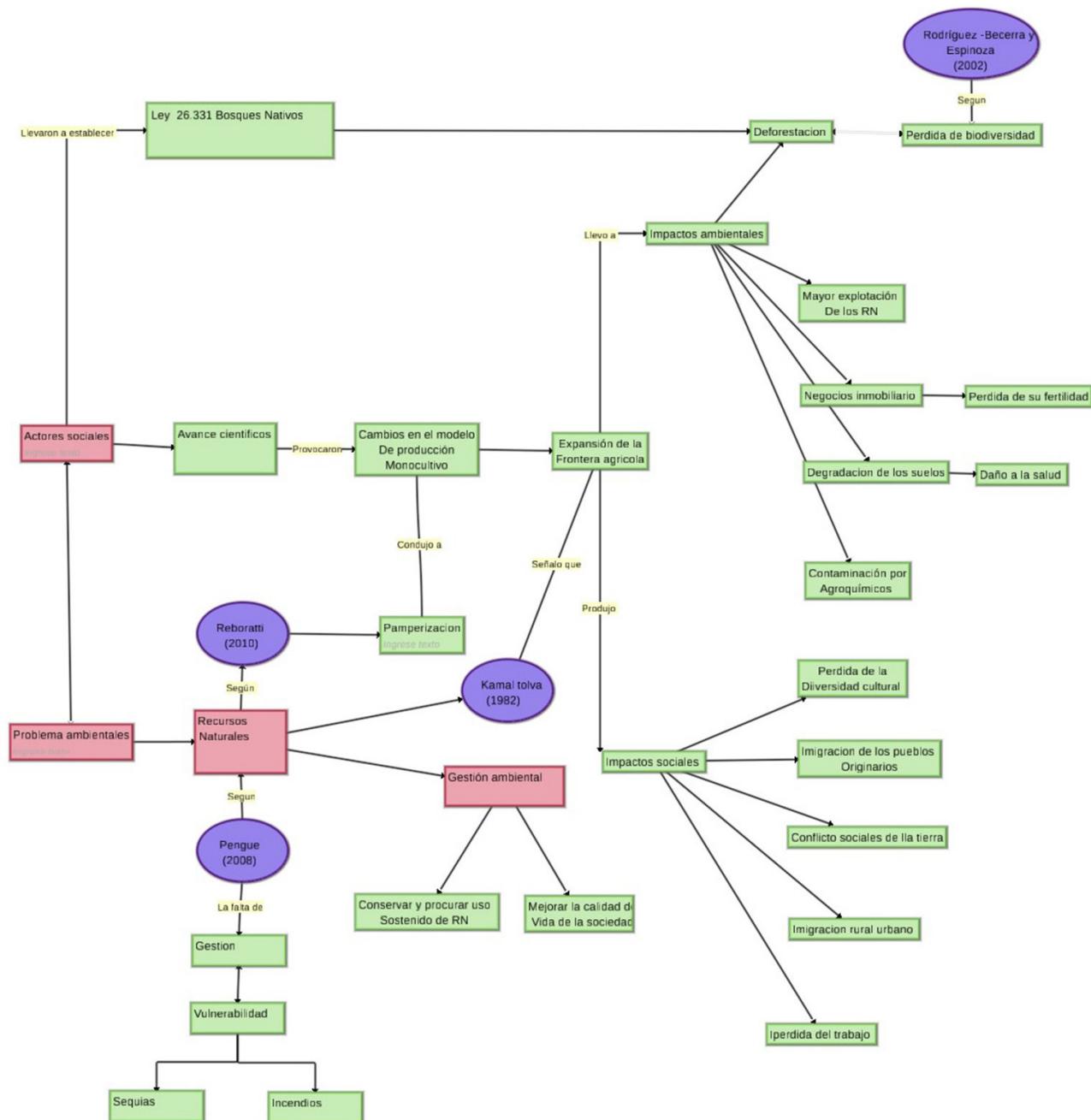


Figura 4: Mapa conceptual elaborado con material bibliográfico

DISCUSIÓN

El avance de frontera agropecuaria a partir de la década de 1990, tuvo un gran auge, esto se puede visualizar en la tabla (1) y gráfico (2) en donde a partir de la campaña del cultivo de soja en 2001-2002 la superficie sembrada fue de 770 has y en la campaña 2008-2009 ascendió a una superficie 5.800 ha de. Asimismo, la expansión dio lugar a cambios en la estructura agrícola, que trajo como consecuencias impactos negativos en diferentes ámbitos (sociales, económicos, ambientales, entre otros), esto coincide con lo expuesto por Núñez citado por Reboratti (2010):“En su expansión hacia el norte fue desplazando actividades relacionadas con otros modelos productivos, destruyendo los bosques nativos y biodiversidad, ocasionando profundas transformaciones en la dinámica territorial en todas sus

dimensiones (social, cultural, política, económica y ambiental)", y por lo expuesto por Pengue (2008) y Reboratti (2010) por el avance de la frontera agraria sobre los bosques nativos a partir del cambio en los modelos de producción y el monocultivo. Y trajo como consecuencias deterioros socio-ambientales coincidiendo por lo enunciado por Rodríguez-Becerra y Espinoza (2002) quienes manifestaron que "El declive de la biodiversidad en buena parte es originado por la deforestación y la contaminación de las aguas, es hoy la principal amenaza ambiental en la región. Entre los mayores problemas se mencionan la fragmentación y destrucción de ecosistemas, el creciente número de especies amenazadas y la erosión genética tanto en las zonas naturales como en los agroecosistemas". A pesar de la ley de bosque nativos (Ley N° 26.331, sancionada en 2009), se puede visualizar (tabla 2 y gráfico 3) cómo evolucionó la deforestación en el área en estudio debido a la expansión agraria. Antes de la reglamentación de dicha ley la superficie deforestada era escasa, y a partir de su reglamentación (2009) se observa una disminución leve de la superficie desforestada, para después volver a incrementar el área deforestada. Coinciendo con lo que pronuncia Núñez, citado en Reboratti (2010), quien indicó que en las Yungas la expansión de la agricultura afectó el 90% de los bosques nativos y selvas pedemontanas, reduciendo los contactos Yungas-Chaco al 16% de su extensión original. Primero fue el cultivo de caña de azúcar el que avanzó sobre los bosques pedemontanos a partir de la década del 80 el proceso de transformación se aceleró de la mano del cultivo de soja a una tasa de 10.000 hectáreas de selva pedemontana transformada por año. En la tabla 3 se puede apreciar un análisis de la evolución de la expansión con sus respectivas consecuencias socio-ambientales y en el gráfico 4 se puede visualizar las articulaciones que surgen de la expansión de la frontera agropecuaria.

CONCLUSIONES

El cultivo de soja ha manifestado un avance manifiesto en todas las potenciales áreas de cultivo, desplazando a otras actividades agropecuarias, en donde se observa la destrucción de ecosistemas naturales y el desplazamiento de poblaciones enteras que residían por décadas. La falta de aplicación de legislaciones vigentes tanto nacionales como provinciales; y/o el nulo control de los organismos claves para la gestión del cuidado del ambiente, la falta de planificación estatal, sumado a las desigualdades determinan que los impactos ambientales de las actividades antrópicas sean más complejos y profundicen sus efectos; es por ello necesario - y urgente- que el estado fortalezca los planes de ordenamiento territorial (POT) y POTBN, para que sean instrumentos transparentes y eficientes a la hora de realizar alguna transformación territorial. En cierta forma el POTBN a contribuido para que la deforestación disminuya. Es necesario focalizar la participación ciudadana (profesionales en la problemática, campesinos, etc.), para incorporar propuestas de mitigación ambiental y así de este modo respetar y cuidar el ambiente, para las generaciones presentes y futuras. (art 41 de la CN y art 22 de la constitución provincial Jujuy).

BIBLIOGRAFÍA

- Congreso de la Nación Argentina (1994). Constitución Nacional. Recuperado de <https://www.congreso.gob.ar/constitucionSeccion4Cap2.php>
- Sistema Argentino de información jurídica. (2023). Constitución de la provincia de Jujuy. Recuperado de <https://www.saij.gob.ar/0-local-jujuy-constitucion-provincia-jujuy-lpy0000000-1986-1022/123456789-0abc-defg-000-0000yvorpyel>
- FAO. (2007). Deforestación: Cambio de uso de la tierra. Recuperado de <https://www.fao.org/4/i0440s/i0440s02.htm>
- Kamal TOLBA, M. (1982). *Desarrollo sin destrucción. Evolución de las percepciones ambientales*. Barcelona. Ediciones del Serbal. Disponible: <https://repositorio.uvq.edu.ar/detail/5310/>
- Gleycer, R. (2010). La tierra es un nuestra-familias campesinas. [DVD]

de <https://www.youtube.com/watch?v=SRKzxtGynqg&feature=youtu.be> Pengue, W. (2008). "El valor de los recursos", en: *La apropiación y el saqueo de la naturaleza. Conflictos ecológicos distributivos en la Argentina del Bicentenario*". Lugar Editorial, Buenos Aires. P: 51-99. Recuperado de <https://repositorio.uvq.edu.ar/detail/5403/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/ciam/deforestacion>.

Pereyra, A y Batalla, M.R. (2014). *La voz de los expertos en la comunicación del riesgo. El caso de las inundaciones de la Plata*. En: Anuario de División Geografía 2012-2013. Departamento de Ciencias Sociales. Luján. Universidad Nacional de Luján. Formato digital. Recuperado de https://repositorio.uvq.edu.ar/media/resources/TRVA_Batalla- Pereyra_Unidad_3_JGIOh7D.pdf

Reboratti, C. (2010). "Impactos de la expansión Agropécuaria sobre la sociedad y el Ambiente" En: *Agricultura, Sociedad y Ambiente. Miradas y conflictos*. Maestría en estudios Sociales y Agrarios, Bs.As., FLACSO Serie Monografías. P: 163-183. Recuperado de <http://flasco.org.ar/publicaciones/agricultura-sociedad-y-ambiente -miradas-y- conflictos/>

Rodríguez-Becerra, M y Espinoza, G. (2002). *Gestión ambiental en América Latina y el Caribe. Evolución, tendencias y principales prácticas*. Banco Interamericano de Desarrollo. Depto. Desarrollo sostenible. División Medio Ambiente, Nueva York. Cap. 4. Recuperado de <http://www.manuelrodriguezbecerra.org/>

DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UNA MAQUINA ARRANCADORA DE BULBOS PARA EL CULTIVO DE CEBOLLAS (*Allium cepa*), EN LA PROVINCIA DE JUJUY, ARGENTINA

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A BULB PLANTING MACHINE FOR ONION CULTIVATION (*Allium cepa*), IN JUJUY PROVINCE, ARGENTINA

Balderrama, P.^{1*}, Catcoff, M.², Delgado, E.³

¹ Prof. Adj. Cátedra de Mecanización Agrícola; ² JTP Cátedra de Mecanización Agrícola; ³ Estudiante de Mecanización Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Jujuy

*Autor para correspondencia:
gimpedrobalderrama@fca.unju

Período de Publicación:
Julio 2025

Historial:
Recibido: 30/09/24
Aceptado: 20/03/25

RESUMEN

La propuesta tecnológica tiene como objetivo dar respuesta a una necesidad de los productores familiares hortícolas de la localidad de aguas calientes, para mejorar las condiciones de cosecha del cultivo de cebolla, labor que se realiza manualmente por las familias, generando mayor demanda de mano de obra y tiempo, aumento en los costos de producción y sobre todo un mayor esfuerzo físico para el arrancado manual por las posturas físicas incorrectas que lleva esta labor. Actualmente la zona, no presenta propuestas de cosechadoras de cebolla acorde al pequeño productor y a las variedades que se cultivan en los diferentes tipos de suelos. El prototipo se diseñó, se construyó con apoyo técnico del Centro de Innovación y Desarrollo en Mecanización Agrícola (CIDMA- UNJu) y se evaluó en parcelas de productores, obteniendo resultados de optimización de la mano de obra empleada, tiempo operativos, calidad en la cosecha, mejora en las exigencias físicas, derivando en la reducción de los gastos de cosecha por menor requerimiento de mano de obra y contribuyendo como primer paso a un proceso de mecanización para los productores familiares hortícolas de cebolla.

Palabras clave: mecanización, cosecha, cebolla

SUMMARY

The technological proposal aims to respond to a need of family horticultural producers in Aguas Calientes town, to improve the harvest conditions of onion cultivation. This work that is carried out manually by families, thus generating greater demand for labour and time, increasing production costs and above all greater physical effort for manual plucking due to the incorrect physical postures involved in this activity. Currently, the area does not present proposals for onion harvesters according to the small

producer and the varieties that are grown in the different soil types. The prototype was designed and built with technical support from the Centre for Innovation and Development in Agricultural Mechanization (CIDMA-UNJu) and was evaluated on producers' plots. Optimization results for the labour used, operating time, and harvest quality, improvement in physical demands were obtained which led to the reduction of harvest expenses due to lower labour requirements and contributed as a first step to a mechanization process for family onion horticultural producers.

Keywords: harvest, mechanization, onion

INTRODUCCIÓN

Aguas Calientes es una localidad perteneciente al Dpto. El Carmen en la Provincia de Jujuy, posee un desarrollo económico forjado principalmente por la agricultura, ya que cuenta con tierras fértiles y agua de riego suficiente para la siembra de diferentes cultivos hortícolas: cebolla, tomate, verduras de hoja, papa, arveja, pimiento, zapallito, angolita, maíz para choclo, etc., estos cultivos se concentran en pequeños productores donde predomina la mano de obra familiar (Braun, 2001).

El cultivo de cebollas (*Allium cepa*) es una fuente generadora de trabajo, el mismo se realiza de manera convencional, con siembras de forma escalonada a partir de febrero y cosechas tempranas a partir de agosto hasta fines de octubre (Vigliola, 1991).

La época de cosecha de cebollas está determinada por la variedad, el punto ideal es cuando el bulbo alcanza la maduración fisiológica, caracterizada por la caída o doblado del cuello de la planta, debido al ablandamiento de la parte inferior del pseudo tallo, o cuando las hojas comienzan a secarse. En suelos de textura arenosa, los bulbos se extraen a mano y en suelos de textura arcillosa, con pico o azadón, estas son herramientas que facilitan la extracción de la hortaliza sin ningún daño. Luego de ser extraída se deja sobre la tierra de 2 a 3 días con el objetivo de que seque al sol y logre un color brillante deseado (Enciso *et al.*, 2019).

La cosecha de la cebolla se realiza a partir del momento que el tallo se dobla a la altura del cuello. Otra forma de iniciar la cosecha, es a partir de que los bulbos han alcanzado el tamaño deseado, en ese momento se pasa un tablón con la finalidad de doblar los tallos, impidiendo la circulación interna y acelerando la finalización del ciclo. Después de arrancadas conviene dejarlas 3 o 4 días en la chacra para permitir la rápida deshidratación de la parte aérea (oreado y curado). Luego se clasifican los bulbos eliminando la parte del tallo y raíces y se embalan embolsas de 22 kg. No todas las plantas maduran al mismo tiempo, pero se indica iniciar la cosecha cuando el 30 al 50% de las plantas muestran su parte aérea volcada. Si los bulbos son cosechados anticipadamente pueden continuar el crecimiento de las hojas, pueden demorar más en secarse, resultar con los cuellos abiertos, arrugados y blandos; afectando la sanidad y el rendimiento final, además de dificultar la conservación del producto. Demorar hasta alcanzar la maduración total (100% de plantas curvadas) lleva a una mayor pérdida de catáfilas de protección y mayor incidencia de enfermedades en almacenamiento. Antes de la cosecha se procede a suprimir los riegos, esto se realiza al iniciarse la "entrega del cultivo" (Siliquini, 2022).

En Aguas Calientes, el producto cosechado se clasifica en tres tamaños, pequeño, mediano y grande, el proceso presenta inconvenientes ya que la mano de obra familiar no alcanza para realizar esta tarea y para cumplir con los tiempos de cosecha es necesario contratar personal extra, incrementando los costos de producción, el tiempo de recolección, selección y empacado para la venta. Además, la labor de arrancado manual de los bulbos se realiza con posturas físicas incorrectas y sobre esfuerzos de trabajo,

lo cual atenta con la salud de las personas.

Una cosechadora mecánica si no posee las características adecuadas para un buen trato de los bulbos puede generar porcentajes importantes con daños mecánicos producto de la mecanización de esta labor (Blanca, 1990).

En los últimos años en las zonas núcleos productoras del país se advierte una tendencia creciente a la cosecha mecanizada de cebollas, donde tradicionalmente la cebolla para consumo en fresco se realizaba a mano, la maquinaria que se ofrece suele ser inasequible para los pequeños productores por su elevado costo (Caracotche, 2019).

Actualmente la zona de Aguas Calientes, no cuenta con propuestas de cosechadoras de cebolla acorde a la demanda local, al pequeño productor, a la variedad de cebollas que se cultiva y sobre todo a los diferentes tipos de suelos.

El desarrollo de la maquinaria agrícola debe hacerse bajo los principios de tecnologías apropiadas y enfoque adaptable, que consideran en su diseño condicionantes técnicos, tecnológicos, económicos, ambientales y socioculturales de la región donde se utilizará el equipo y que este sea sostenible en el tiempo (Marreno *et al.*, 2023).

La propuesta tecnológica tiene como objetivo dar respuesta a una necesidad de los productores familiares hortícolas de la localidad de aguas calientes, para mejorar las condiciones de cosecha del cultivo de cebollas, labor que se realiza manualmente por las familias, generando mayor demanda de mano de obra y tiempo, aumento en los costos de producción y sobre todo un mayor esfuerzo físico para el arrancado manual por las posturas físicas incorrectas que lleva esta labor.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó la metodología para el diseño y desarrollo de la maquinaria agrícola con enfoque sostenible, propuesta por Marreno *et al.*, 2023, abarcando ocho etapas, desarrolladas a continuación.

1. Observaciones a campo de parcelas hortícolas ubicadas en Aguas Calientes, Dpto. El Carmen, Pcia. de Jujuy, para tomar medidas de marcos de plantación utilizadas, densidad de siembra, variedades más comunes de cebolla, herramientas empleadas en etapas de cultivo y seguimiento de la cosecha manual.

2. Búsqueda de información bibliográfica y electrónica sobre máquinas cosechadoras de cebollas, arrancadoras, principios de funcionamientos, necesidades del cultivo en etapa de cosecha.

3. Empleando la técnica “brainstorming” (Pérez, 2017) se generó una idea base del prototipo con capacidad de arrancar las cebollas de los bordos de siembra para dejarlas expuestas para la posterior labor de descole y embolsado. Componentes mecánicos necesarios, descripción de cada uno y acceso a los mismos.

4. Se realizó el diseño gráfico del prototipo con software diseño en 3D (SketchUp) con apoyo técnico del Centro de Innovación y desarrollo para la Mecanización Agrícola (CIDMA UNJu).

5. Lista de materiales empleados para la construcción del prototipo

- Bastidor reutilizado de cultivadora, construidos de caños estructurales de sección cuadrada 80 x 80 x 4 mm. (Cuadro1)

- materiales de hierro de diversos tipos provenientes de la planta de reciclaje de hierros ubicado en

la localidad de Pampa Blanca, Dpto. El Carmen, Jujuy.

6. Se construyó el prototipo en el taller metal mecánico de CIDMA UNJu. Utilizando las siguientes herramientas: oxicorte, maquinas soldadoras, amoladoras, taladro de banco, y demás herramientas necesarias para su construcción.

7. Se probó en campo el prototipo en condiciones reales de cosecha en finca de la familia Delgado de Aguas calientes. Durante la prueba se realizaron todos los ajustes necesarios para:

- garantizar el funcionamiento de la máquina,
- observación de calidad del producto obtenido a través de la acción mecanizada,
- medición de tiempos operativos de máquina,
- capacidad de trabajo,
- velocidad de trabajo,
- eficiencias y
- un cuadro comparativo entre arrancado manual y el mecanizado.

8. Se prevé la realización de un manual técnico del funcionamiento de la maquina arrancadora, con una descripción de los componentes de la máquina, regulación de la máquina, mantenimiento y seguridad en su uso.

RESULTADOS



Figura 1: Marco de plantación, Aguas Calientes, Dpto. El Carmen, Jujuy. Argentina.

- Distancia entre líneas de plantación: 0,70 m
- Ancho de borde de cultivo con cebollas: 0,40
- Ancho de surco para riego: 0,30 m
- Altura promedio de borde de cultivo: 0,1 m

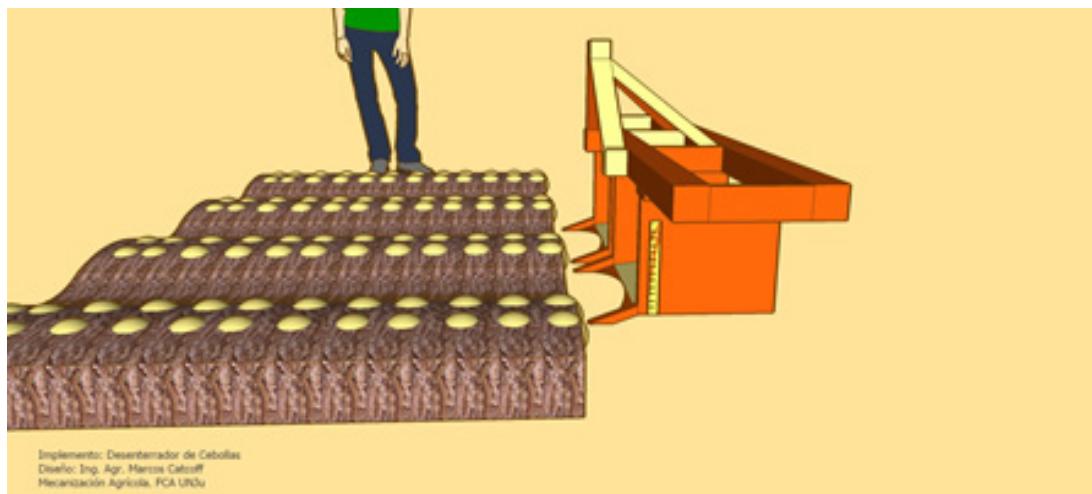


Figura 2: Prototipo arrancador de cebollas en posición de trabajo a escala y adaptado al marco de plantación de la zona.

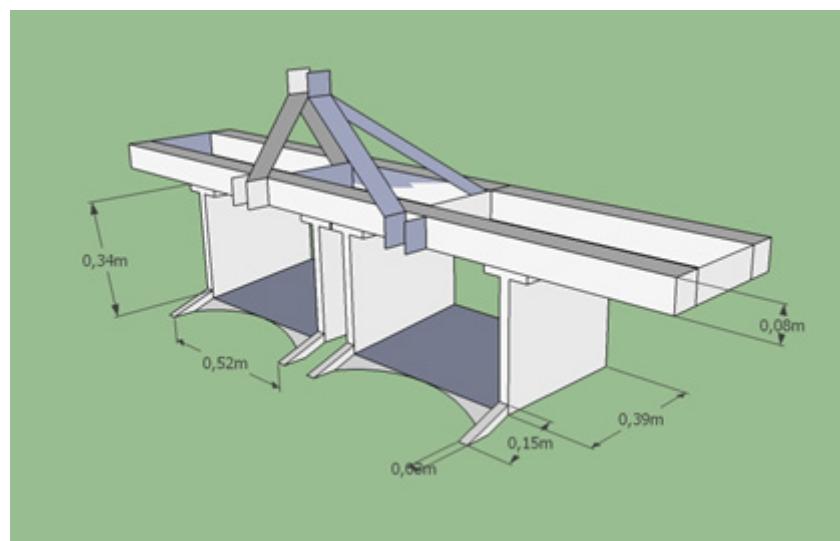


Figura 3: Arrancador de cebollas en imagen 3D con medidas en metros.

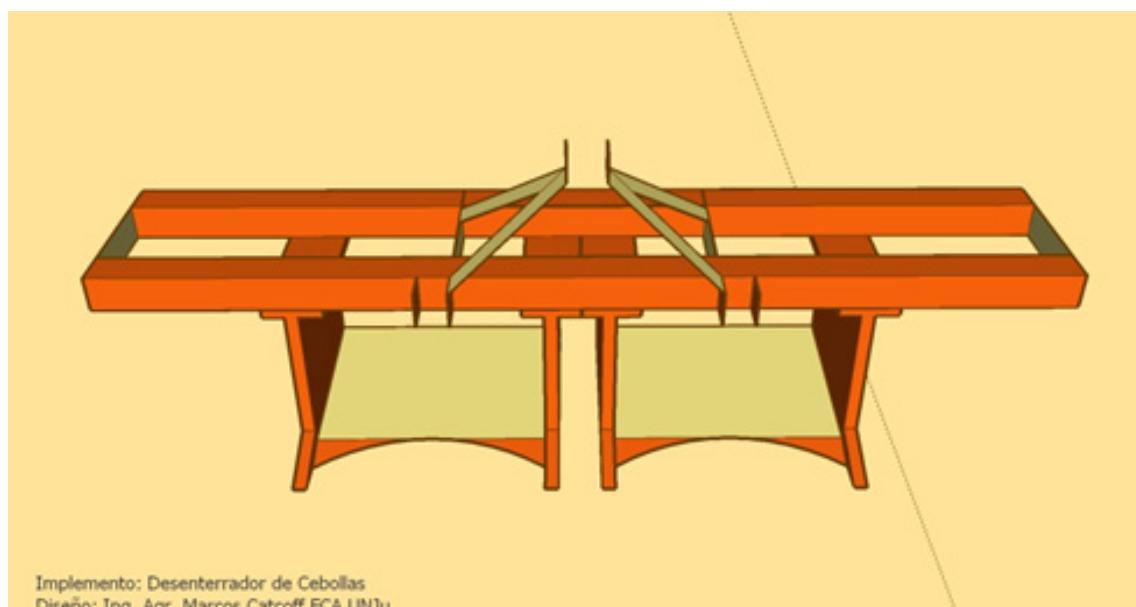


Figura 4: Arrancador de cebollas en imagen 3D vista frontal.

Cuadro 1: Distintos componentes de la maquina arrancadora

Bastidor	
Porta rejas	
Porta cuchilla	
Cuchillas	
Brazos rígidos portaherramientas	
Chapones levantadores	



Figura 5: Máquina arrancadora de cebolla, montada en un tractor a con sistema de enganche de 3 puntos.



Figura 6: Máquina arrancadora de cebollas en posición de trabajo.



Figura 7: Bulbos de cebolla expuesta producto final de la máquina arrancadora de cebolla.

Cálculos de capacidad de trabajo

(A) Ancho de trabajo de la máquina: 1,4 m

(Vel): Velocidad de trabajo: 4 km/h

(Ef): Eficiencia de trabajo: 70%

Capacidad de trabajo (hectáreas/hora) = A x Vel x Ef x 0.1

Capacidad de trabajo: 0,39 ha/hora

Tiempo operativo: 2,5 horas/ha

Tiempo operativo: 1/Cap. Trabajo

Cuadro 2: Comparación de jornales, tiempo, esfuerzo y calidad de bulbos de cebolla cosechados con arrancado manual y cosechados con el arrancado de cebollas mecanizado.

Concepto	Mecanizado	Manual
Jornales necesarios para cosechar 1 ha	10	40
Tiempo de cosecha (días/ha).	2	7
Esfuerzo para el trabajo	Muy bajo	Muy alto
Calidad de bulbos cosechados	Muy buena	Muy buena

DISCUSIÓN

El diseño del prototipo (Figs. 2, 3 y 4) se realizó en función de las necesidades observadas en campo, considerando que el arrancado manual obtiene los bulbos limpios y sin ningún daño mecánico, por lo cual el rol de las cuchillas y su capacidad de penetración en el suelo debe de ser muy prolífico para equiparar al arrancado manual. Esta condición está garantizada por los mecanismos de regulación que poseen las cuchillas y chapones levantadores de la máquina, además el tercer punto del tractor se observó que colabora de manera significativa en su puesta a punto para el desarrollo de arrancado de bulbos de cebolla, logrando la premisa enunciada por Blanca, 1990.

En cuanto a los componentes del prototipo (Cuadro 1) los mismos están en función al marco de la plantación de cultivo de cebollas practicado en una finca en particular, parte de una zona con necesidad de esta tecnología, esto no impide la posibilidad de poder adaptar la máquina a diferentes situaciones, estando de acuerdo con lo propuesto por Marreno en 2023, un diseño debe poder adaptarse a diversas situaciones para poder lograr ser sostenible.

En la Fig. 5 se muestra la máquina cosechadora enganchada al sistema de 3 puntos de un tractor Massey Ferguson de tracción simple de 55 cv de potencia, en posición de transporte. El cual fue suficiente para accionar el implemento concordando con las tablas de potencia demandadas (Raggio, 1997).

En la Fig. 6 se puede observar el trabajo realizado por la arrancadora dejando los bulbos expuestos sobre el terreno para su secado en muy buenas condiciones en cuanto a limpieza y sanidad de los mismos como se muestra en la Fig. 7, concordando con Siliquini (2022), empleando el implemento en el momento óptimo de cosecha cuando el “cultivo se entrega”.

En cuanto a la capacidad de trabajo, la arrancadora arrojó un valor de 0,39 has/ hora a una velocidad de trabajo de 4 km/ha, y una eficiencia del 70%, dejando de lado la necesidad de emplear 30 jornales de mano de obra para esta labor y facilitando las labores de descolado y embolsado de los bulbos.

CONCLUSIONES

La mecanización del proceso de arrancado de bulbos en el cultivo de cebolla demostró ser una alternativa viable para mejorar la eficiencia operativa en la cosecha. La implementación del prototipo desarrollado permitió reducir significativamente el tiempo de cosecha, disminuir la demanda de mano de obra y optimizar las condiciones laborales al minimizar el esfuerzo físico requerido para la extracción manual de los bulbos.

El diseño y desarrollo de la máquina arrancadora, fundamentado en principios de tecnologías apropiadas y sostenibles, representa un avance significativo hacia la mecanización progresiva de la cosecha de cebolla en la región. La adaptabilidad del equipo a distintas condiciones de suelo y cultivo garantiza su potencial implementación en diversos sistemas productivos, favoreciendo la reducción de costos y la mejora de la competitividad del productor agrícola familiar de la provincia de Jujuy.

BIBLIOGRAFÍA

- Blanca, A. L. (1990). Maquinaria agrícola: constitución, funcionamiento, regulaciones y cuidados. Servicio de Extensión Agraria, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Braun Wilke, R. H. (2001). Carta de aptitud ambiental de la provincia de Jujuy. In Carta de aptitud ambiental de la Provincia de Jujuy
- Caracotche, V. (2019). Recomendaciones técnicas para el cultivo de cebolla. INTA.
- Raggio, J.B. (1997). Cómo y con qué en máquinas agrícolas. Editorial Ennio Ayosa Impresores, Bs. As. Argentina. ISBN 950-43-7993.
- Enciso, C. R., Vera, P. A., Santacruz, A. R., & González, J. D. (2019). Guía Técnica del Cultivo de la Cebolla. PPT Proyecto Paquetes Tecnológicos. FCA, UNA Facultad deficiencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción.
- Marrero, J. A. G., & Rivero, R. B. (2023). Metodología para el diseño y desarrollo de la maquinaria agrícola con enfoque sostenible. *Opuntia Brava*, 15(4), 115-129.
- Pérez, I. L., González, L. G., & Maldonado, A. L. (2017). Brainstorming como recurso docente para desarrollar competencia investigadora. *Revista iberoamericana de educación*, 74(1), 133-148.
- Siliquini, O. A. (2022). Cosecha y poscosecha en cultivos de ajo y cebolla.
- Vigliola, M. (1991). Manual de Horticultura 2 da Ed. Editorial hemisferio Sur Buenos Aires-Argentina.