

Agraria

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



**Facultad
de Ciencias
Agrarias**



UNJu
Universidad
Nacional de Jujuy

Año 2025 | Volumen 18 (2)

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

Vicedecano

Mg. Ing. Agr. Raul Colque

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

Dr. Fabio Alabar

Dr. Gustavo Ancasi

Dra. Viviana Curzel

Dra. Norma Farfan

Dra. Gabriela Fernandez

Dra. Cecilia Giulianotti

Dr. Héctor Sato

M. Sc. Patricia Arias

Master Gustavo Guzmán

M. Sc. Rafael Hurtado

M. Sc. David Montenegro

Ing. Agr. José Catacata

Ing. Agr. Jorge Quiquinto

Ing. Agr. Juan Solís

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

TRABAJO

7-20 pag.

EL SISTEMA DE LAS CARNES ANDINAS EN JUJUY, ARGENTINA. LA VALORIZACIÓN DEL PRODUCTO DESDE LA RURALIDAD Y LA ECONOMÍA SOLIDARIA

THE ANDEAN MEAT SYSTEM IN JUJUY, ARGENTINA. PRODUCT VALORIZATION FROM RURALITY AND THE SOLIDARITY ECONOMY

21-33 pag.

ACTIVIDAD INHIBITORIA DE BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICO PRODUCTORAS DE RIBOFLAVINA FRENTE A PATÓGENOS DE *Apis mellifera*

INHIBITORY ACTIVITY OF RIBOFLAVIN-PRODUCING LACTIC ACID BACTERIA AGAINST PATHOGENS OF *Apis mellifera*

34-44 pag.

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES SÓLIDOS Y LÍQUIDOS (BOKASHI) EN EL CULTIVO DE AJO EN LA QUEBRADA DE HUMAHUACA

EFFECT OF THE APPLICATION OF SOLID AND LIQUID BIOFERTILIZERS (BOKASHI) ON GARLIC CULTIVATION IN THE QUEBRADA DE HUMAHUACA

45-61 pag.

CLUSTERIZACIÓN DE BARRIOS EN EL AGLOMERADO JUJUY - PALPALÁ POR VARIABILIDAD DE PRECIOS MINORISTAS DE FRUTAS Y VERDURAS

NEIGHBORHOOD CLUSTERING IN THE JUJUY - PALPALÁ AGGLOMERATION BASED ON VARIABILITY IN RETAIL PRICES OF FRUITS AND VEGETABLES

62-73 pag.

COMPARACIÓN DE DOS MÉTODOS FENOLÓGICOS EN DURAZNERO

COMPARISON OF PHENOLOGICAL METHODS IN PEACH TREES

74-88 pag.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE ESTIMACIONES SATELITALES Y TERRESTRES DE PRECIPITACIÓN EN EL NOROESTE ARGENTINO

COMPARATIVE EVALUATION OF SATELLITE AND GROUND-BASED PRECIPITATION ESTIMATES IN NORTHWESTERN ARGENTINA

COMUNICACIÓN

89-94 pag.

COMPOSTAR PARA DAR VIDA

COMPOSTING TO GIVE LIFE

Agraria

Revista Científica de la
Facultad de Ciencias Agrarias

EL SISTEMA DE LAS CARNES ANDINAS EN JUJUY, ARGENTINA. LA VALORIZACIÓN DEL PRODUCTO DESDE LA RURALIDAD Y LA ECONOMÍA SOLIDARIA

THE ANDEAN MEAT SYSTEM IN JUJUY, ARGENTINA. PRODUCT VALORIZATION FROM RURALITY AND THE SOLIDARITY ECONOMY

Agustinho, M. A.^{1*} y Zerpa, D. F.²

¹ Ministerio Ciencia y Tecnología, Programa Ciencia y Tecnología contra el hambre, FCE, UNJu

² Ministerio Ciencia y Tecnología, Programa Ciencia y Tecnología contra el hambre, FCA, UNJu

***Autor para correspondencia:**
aleagustinho@fce.unju.edu.ar

Período de Publicación:
Diciembre 2025

Historial:
Recibido: 20-03-25
Aceptado: 18-07-25

RESUMEN

Se comparten resultados de la sistematización sobre el proceso de valorización del producto carne fresca de llama, analizado con la Metodología de Cadena de Valor (MCDV) aplicada a un mercado de proximidad entre actores de la Economía Social y Solidaria de la provincia de Jujuy. Regidos por el principio de que la actividad económica se realiza primeramente para resolver necesidades humanas, se las definió como soporte para caracterizar el proceso de valorización, dimensionando capacidades disponibles y potenciales según las demandas en cada eslabón. El proyecto "Mercados de Proximidad en Jujuy, Carnes Andinas para mejorar la calidad alimentaria", buscó consolidar la CDV de las carnes andinas producidas en la zona de influencia de la Microrregión de Yavi. Un objetivo era identificar puntos críticos y proponer alternativas para abastecer un mercado en formación, que optimicen la eficiencia sin comprometer la capacidad de carga de los campos ni los recursos del territorio. Se identificaron barreras y oportunidades, desarrollando herramientas destinadas a un mercado de proximidad entre productores ganaderos locales y comedores comunitarios del programa Abordaje Comunitario. Los resultados obtenidos demuestran que el abastecimiento de la CDV (producción primaria ganadera; procesamiento en sala de faena; procesamiento a porciones, integradas al Paquetón Carnes Andinas; y necesidades de los comedores comunitarios), puede ser adecuada, y es suficiente para satisfacer las necesidades de las demandas en el mercado de proximidad.

Palabras clave: mercados de proximidad, Metodología de Cadena de Valor, Paquetón Carnes Andinas, Puna de Jujuy

SUMMARY

Results from the systematization of the valorization process of fresh llama meat are presented. These results were analyzed using the Value Chain Methodology (VCM) applied to a local market among actors in the Social and Solidarity Economy of the province of Jujuy. Based on the principle that economic activity is primarily carried out to meet human needs, these methods were defined as a support for characterizing the valorization process, sizing available and potential capacities according to the demands at each link.

The project "Proximity Markets in Jujuy, Andean Meats to Improve Food Quality" sought to consolidate the VCM of Andean meats produced in the area of influence of the Yavi Microregion. The objective was to identify critical points and propose alternatives to supply an emerging market, optimizing efficiency without compromising the carrying capacity of the fields or territorial resources. Barriers and opportunities were identified, and tools were developed for a local market between local livestock producers and community kitchens of the Community Approach program. The results obtained demonstrate that the supply of the CDV (primary livestock production; slaughterhouse processing; portion processing, integrated into the Andean Meat Package; and the needs of community kitchens) may be adequate, and sufficient and adequate, to meet the needs of the demands identified in the local market.

Keywords: Andean meats package, Jujuy's Puna, proximity markets, value chain methodology

INTRODUCCIÓN

Denominamos Carnes Andinas al producto cárnico generado en el sistema productivo ganadero desarrollado en territorios de la puna o altiplano, conformando una ruralidad basada en la ganadería de camélidos como actividad central y como principal ingreso productivo. Estas formas organizativas familiares y comunitarias conforman el campo de la Economía Popular, Social y Solidaria (EPSS)¹.

Los circuitos comerciales de la carne de llama en Puna y Quebrada se basan en estrategias colectivas e informales que permiten a las comunidades rurales eludir las exigencias de infraestructura y normativa existentes. Estas prácticas aseguran el acceso de los sectores populares a una fuente de proteína de alta calidad y culturalmente arraigada.

La informalidad predominante impide que el acceso a mercados formalizados, insatisfechos. El análisis que venimos a presentar se ocupa de la dinámica productiva de la carne fresca habilitada como el producto estructurante de esta CDV, caracterizando las transformaciones que se operan en el proceso de valorización y formalización, evaluando disponibilidad y adecuación en cada eslabón del proceso

¹ La Economía Popular refiere a la economía de los trabajadores, estén o no organizados; a la Economía Solidaria, cuando el factor de poder y la gobernanza se presentan como sistema complejo con formas organizadas colectivamente. Toda relación económica es siempre y a la vez relación social, es Economía Social.

traccionado por los comedores del Programa Abordaje Comunitario² (unos 9000 comensales), hacia la Microrregión de Yavi³. Se partió de la hipótesis de que los eslabones de la CDV se encontraban disponibles en el territorio, pero la informalidad predominante impedía articulaciones eficientes y perdurables de productos inocuos y habilitados, como requerimientos de la demanda.

El presente trabajo resulta del proyecto “Mercados de Proximidad en Jujuy, Carnes Andinas para mejorar la calidad alimentaria”⁴, posible por políticas públicas que promovieron el desarrollo territorial en alianza con el sistema científico tecnológico, subrayando el rol central de la EPSS en la creación de modelos productivos sostenibles y democráticos (Agustinho *et al.*, 2024).

Son antecedentes el informe realizado en 2015 por la Mesa Agropecuaria para el Desarrollo con Justicia Social de los Territorios de Jujuy, sobre la producción y comercialización de carne de la Agricultura Familiar (AF) en la Puna Jujeña, integrando secciones sobre sistemas ganaderos, tramas comerciales y marcos normativos (Echenique 2015). Se encuentra otra publicación resultado de una investigación del INTA IPAF NOA, abordando a las carniceras intermediarias desde la trama socio-productiva y comercial de la carne (Alcoba *et al.*, 2021).

Como avances y publicaciones del proyecto⁵, para indagar sobre la estructura general de la CDV, remitir a Agustinho *et al.*, (2023) en las *Actas de las XV Jornadas Nacionales de Investigadorxs en Economías Regionales* (CEUR-CONICET 2022) Para el desarrollo de producto Paquetón Carnes Andinas, a las *IV Jornadas Interdisciplinarias de Tecnología y Desarrollo Social* (CIITeD, 2023), donde se expone la determinación del producto resultante de la demanda de los actores en el mercado de proximidad. Para la CDV desde la estructura de costos, recuperar las publicaciones de Tolaba (2022), en el *XLV Congreso Argentino de Profesores Universitarios de Costos*, y el de Agustinho, Saravia & Vargas en las *Actas III Jornadas de Investigación en Ciencias Económicas, Jurídicas y Sociales*, Facultad de Ciencias Económicas, Jurídicas y Sociales UNSA (Cardozo, 2023).

El objetivo es identificar puntos críticos y proponer alternativas para abastecer una demanda en formación, y optimizar la eficiencia sin comprometer capacidad de carga en campo, ni recursos del territorio. Se compartirán estimaciones y se identificarán barreras, aplicando la cuantificación como herramienta para mejorar la productividad sin incrementar la escala, se caracterizan recursos y costos ocultos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aplicar la Metodología de CDV facilita cartografiar la demanda y elaborar tipologías de productos en función de las necesidades de los actores en cada uno de los eslabones de valorización. Permite sistematizar información crítica sobre dificultades socio-productivas de un producto específico, redefiniéndolas como oportunidades para generar valor satisfaciendo necesidades locales, y diseñar

² Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Programa Argentina contra el Hambre (PACH), Ministerio de Desarrollo Social de la Nación (MDSN): PNUD ARG 20/004 PACH-MDSN.

³ Organización sin fines de lucro, integra las comisiones municipales de Barrios, Yavi, Cangrejillos, El Cóndor y Pumahuasi, (Depto de Yavi), fomenta el desarrollo territorial mejorando escalas. Es entidad administrativa de derecho público con personería jurídica y patrimonio propio e independiente de los municipios que la componen. Su modelo de gestión permite superar limitantes geográficas, productivas, educativas, institucionales y políticas.

⁴ Facultad de Ciencias Económicas, UNJu. Proyecto ANR CAF-CFA 8919, MinCyT Ciencia y Tecnología contra el hambre, C126. Ejecución en 2022 y 2023 integrado por UNJu (FCE, UNJu Virtual); INTA Miraflores; SENASA, Programa Abordaje Comunitario, INAFCI Jujuy, estudiantes UNJu y UBA, y referentes de la Microrregión de Yavi.

⁵ Se puede acceder a los documentos en <https://carnesandinasjujuy.com.ar>

herramientas para mejorar la calidad de vida, fomentando la comensalidad⁶. Se echa luz partiendo de la demanda.

Un Mercado de Proximidad es la expresión relacional de una CDV que se desenvuelve e institucionaliza en un entorno de EPSS. Es una relación social estabilizada en el tiempo a modo de *gobernanza*, capacidad política de los colectivos sociales para afrontar cuestiones asociadas a la realización de necesidades junto con los actores involucrados. Se traduce en organización cuando los empodera, disponiendo herramientas y estrategias para encauzar y resolver disputas, y propiciando la reproducción ampliada de la vida⁷. Un mercado de proximidad en un entorno de EPSS tiene fundamentos organizativos, y responde a una demanda diferente a la del mercado lucrativo. No se basa en la búsqueda de ganancia, y aspira a consolidar relaciones económicas sostenibles, a escala humana, y respetuosas del ambiente.

Del análisis histórico de las trayectorias económicas, culturales, normativas y políticas que moldean las condiciones de posibilidad actuales, se logra interpretar la complejidad del territorio. Si la carne de llama, producto local ancestral y arraigado, posee tantas virtudes... ¿qué factores contribuyeron a que haya permanecido desvalorizada e invisibilizada? ¿Cómo afecta que integra un mercado cárnico diverso?

La carne vacuna es el pilar de la comensalidad argentina y un recurso económico estratégico. Su CDV se estructura sobre modelos tecnológicos y normativos con una gobernanza regida por el destino exportador. Entonces la normativa nacional opera como barrera de acceso para los productos locales al interferir con la provisión de carnes de otras especies, aunque aseguren inocuidad.

Por otra parte, la carne de llama ha sido comparada con otras, y rotulada despectivamente como "carne de pobre", o la supuesta transmisión de enfermedades con origen en creencias impuestas desde la conquista española, (Vidal Castro *et al.*, 2005). La escasa difusión y promoción de sus propiedades la desvaloriza más aún.

La persistencia del mundo andino continúa en prácticas productivas, a menudo invisibilizadas. El consumo de carne de llama es ancestral, arraigado, y sostenido en el tiempo⁸. Se registra en el Código Alimentario Argentino en 2017, y los establecimientos de faena habilitados en las cuencas primarias operan hace diez años.

Se propone como hipótesis que el mercado formalizado⁹ de las carnes andinas se encuentra en formación y en expansión, complementando otras modalidades del mercado de la carne, y se consolida enraizado en lógicas económicas ancestrales y estables, aunque enfrentando nuevos desafíos normativos y de organización. Por eso su análisis como mercado de proximidad facilita el reconocimiento de actores y barreras, y contribuye a la integralidad y a la justicia en el proceso de valorización.

Se elabora un diagnóstico territorial modelizando la CDV de las carnes andinas en un entorno de EPSS, en base a cuatro ejes que complementan a la Cadena Principal: (a) Servicios de apoyo, (b) Suministros, (c) Equipos y mantenimiento y (d), Dinámica de la gobernanza que los articula, en base a las oportunidades

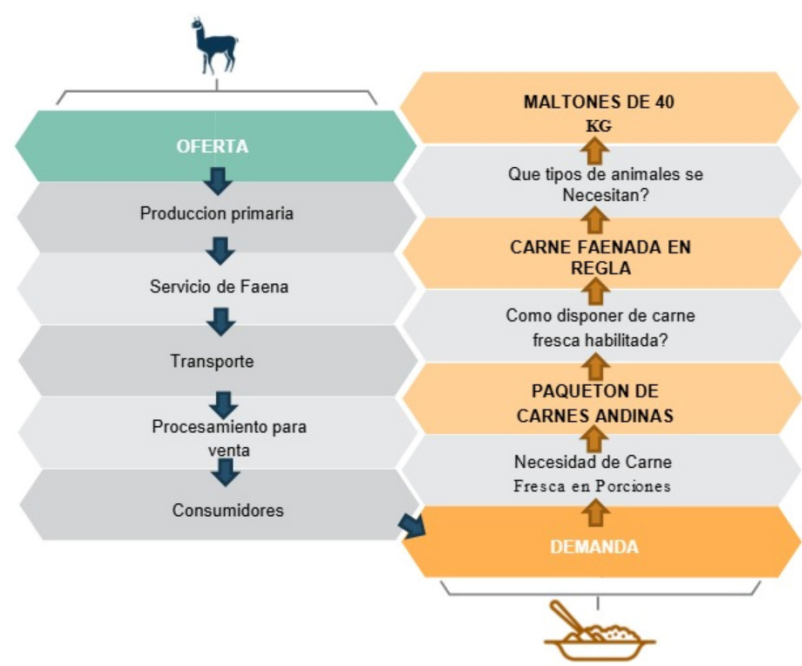
⁶ *Comensalidad*: hecho humano de comer y beber juntos alrededor de la misma mesa; espacio simbólico del grupo social que comparte y transmite valores y sentidos sociales, identidad. *Alimentación* es función orgánica de ingesta de alimentos para conseguir nutrientes y energía para el desarrollo. (Aguirre P. *et al.*, 2010).

⁷ Satisfacción de las necesidades como la reproducción de la vida contemporánea y la de las futuras generaciones.

⁸ Un estudio exhaustivo de la dimensión y arraigo de este alimento se encuentra en Echenique, (coord.), (2015)

⁹ La carne de llama no cuenta con normativa de habilitación en los organismos locales de control, y se aplican criterios para trazabilidad de vacunos. Ver *Mercados de proximidad para las carnes andinas en Jujuy, Argentina, año 2022*. Ponencia, Actas de las XV JNIEP. P. 482.

para estabilizar las redes de relaciones y los nexos entre eslabones. También se caracterizan actores de un mercado de proximidad reciente, definiendo la necesidad de desarrollar un producto cárnico como herramienta para que logre consolidarse.



Cuadro 1: Eslabones productivos estratégicos, necesidades de cada eslabón y producto demandado, según el análisis de gobernanza del mercado de proximidad.

El eje principal de la CDV consta de cuatro etapas de valorización: producción primaria ganadera; procesamiento en salas de faena; procesamiento para consumo; y necesidades de las organizaciones. La CDV se recorre en sentido inverso, desde la demanda generada por las organizaciones comunitarias hasta la producción primaria, identificando requerimientos productivos que para satisfacer la necesidad (Cuadro 1).

La MCDV permite sistematizar información obtenida de fuentes primarias, secundarias, informantes clave y dinámicas grupales de trabajo: Se identifica barreras de acceso, y se redefinen como oportunidad, para realizar las necesidades y generar valor y precio justo.

La estrategia metodológica para trabajar junto con los actores, constó de tres fases:

Fase uno: se recupera y sistematiza una experiencia realizada en 2019 por el Programa de Abordaje Comunitario, la Subsecretaría de Agricultura Familiar, y colaboradoras de comedores, cuando se sensibilizó sobre la carne de llama y las alternativas de incorporación a los menús, implementando talleres de cocina, intercambio de recetas y capacitaciones, y elaborando un recetario con carne de llama¹⁰, que resultó el insumo para diseñar un producto cárnico específico.

Fase dos: Metodología de acción participativa con once comedores a modo de plan piloto, cada uno con un piso de cien comensales por servicio (año 2023). Se propone una experiencia de comercialización entre productores y cocineras, junto con Microrregión de Yavi, autoridades y referentes locales, y la carnicería Puna 1397 en San Salvador de Jujuy, observando y acompañando el ciclo productivo completo,

¹⁰ Se puede acceder al recetario por www.carnesandinas.com.ar

con el registro de procesos y productos, económicos, financieros, de gestión, y normativos.

Fase tres: Experiencia controlada de procesamiento en la carnicería Puna 1397, desde canal entera a Paquetón Carnes Andinas, sistematizada en base a la información crítica recabada en las fases uno y dos, que consistió en procesar canales de llama a porciones individuales según los requerimientos de los comedores¹¹.

Para el análisis del eslabón primario y las proyecciones productivas en la Microrregión de Yavi se consolidaron datos primarios de fuentes estadísticas: (a) Censo Nacional Agropecuario (CNA) 2018, (b) registros de existencias ganaderas (SENASA Jujuy 2020-2022), (c) relevamiento por emergencia hídrica en Puna (2015-2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción del producto carne fresca de llama

La carne fresca de llama fue analizada reconociendo su contribución a la sostenibilidad social, económica, productiva y ambiental del sistema primario. Estudios previos resaltan su rol en la seguridad alimentaria, especialmente en comunidades que valoran sus características organolépticas y su contribución a la diversificación (Aleu, 2010)

Para determinar las restricciones y posibilidades en la propuesta sobre el procesamiento, se analizaron trabajos científicos que analizaban tanto la composición de la carne como el rendimiento de la canal.

En relación con la calidad nutricional y tecnológica de esta carne, se ha destacado que presenta un perfil de ácidos grasos favorable, con niveles moderados de ácidos grasos saturados (AGS), altos de mono insaturados (AGMI) y bajos de poli insaturados (AGPI), lo que la convierte en una opción saludable para el consumo humano. Estos valores se encuentran influenciados por factores como la edad y el tipo de alimentación, mostrando una mayor calidad en animales suplementados con concentrados en su dieta (Mamani-Linares, 2013). Contiene alta biodisponibilidad de hierro y zinc (3.3 y 4.4 mg/100 g), siendo casi el doble que otras carnes rojas (Polidori *et al.*, 2007). Informes técnicos (INTI 2018) indican que tiene un 20,3% de proteínas, es baja en grasas (4,3% contra 5,6% la aviar) y en colesterol (29,3 mg/100g; vacuno 90 mg/100g; ovino y porcino 70 mg/100g; aviar 74 mg/100g). Estudios de aprovechamiento, rendimiento y cortes de maltón concluyen que la relación carne/hueso/grasa es muy diferente al vacuno, y no es viable replicar los cortes: Vallejos Cabada (2018) sostiene que la relación músculo/hueso en razas bovinas supera ligeramente la proporción 4:1. Mamani - Linares *et al.*, (2014) sostienen que la proporción músculo/hueso en la carne de llama es significativamente alta, destacando en cortes como la pierna, donde alcanza valores de hasta 70% de músculo en relación al total del corte, lo que la posiciona favorablemente frente a otras carnes en términos de aprovechamiento. Los cortes como el cuello/cogote presentan una mayor proporción de hueso, lo que influye en su valoración comercial y uso culinario. En promedio, por cada 3,8 kg de carne hay 1,0 kg de hueso, relación muy superior a ovinos y vacunos. En carcasas de llamas de 18 meses de edad, la relación hueso/carne es 0.39. Este valor fue inferior al reportado por Cochi *et al.*, (2004) para llamas de tres años de edad: 0.64 como relación hueso/músculo en la pierna (2.46 Kg de hueso/3.83 Kg de músculo). Las llamas de 18 meses rinden más en carne de pierna, si se comparan con llamas de 3 años (Arzabe *et al.*, 2018).

Estos estudios ayudaron a definir que la optimización del proceso y la mejor calidad de carne se obtendrían de animales Maltones de 18/24 meses, que además no transfieren parasitosis en músculo.

¹¹ Se registraron tiempos, costos de uso de máquinas y herramientas, cuantificación de porciones individuales, agrupamiento por subproducto, e integración de los bultos aplicando envasado al vacío. Se analizó la logística y se realizaron ensayos de etiquetado y percepción del producto.

Caracterización de la demanda: los comedores comunitarios

El programa Abordaje Comunitario se centra en el trabajo directo con las organizaciones comunitarias que prestan servicios alimentarios regulares destinados a la población en situación de pobreza y vulnerabilidad social. Financia organizaciones y busca fortalecerlas aumentando su capacidad de gestión. Durante el año 2022 en el conglomerado San Salvador de Jujuy – Palpalá atendía casi 9 mil personas (más de dos mil familias). Funcionan en casas de familia o espacios comunitarios y brindan hasta 2 prestaciones (almuerzo o cena; desayuno o merienda). El Programa cubre el 50% del requerimiento nutricional diario; decide promover el consumo de llama por sus cualidades nutricionales y su arraigo cultural.

Tabla 1: Proyección del consumo de carnes andinas, Abordaje Comunitario, Jujuy

Prestación	Diaria	Recomendación Semanal por el programa		Demanda Semanal
	Cantidad de comensales	Porción completa 120gs (milanesa, pan de carne)	Porción Trozada, 80gs (guiso, salsa)	Completa + trozada
Almuerzo	7134	856 kg	570 kg	1426 kg
Cena	1508	180 kg	120 kg	300 kg
Total	8642	1036 kg	690 kg	1726 kg

Fuente: elaboración propia, en base a datos primarios del programa

Las estimaciones indicaron que para cubrir la totalidad de la demanda de proteínas animales es necesario disponer unos 1726 kg semanales de carne fresca lista para cocinar. Esta cifra sería meta máxima si la demanda fuera exclusiva de esta especie.

Las Guías Alimentarias para la Población Argentina (MinSal, 2016) contienen las recomendaciones nutricionales para una alimentación saludable, indicando porciones de 100 g de carne sin hueso, o 150 g de carne con hueso¹². Las Guías integran el convenio de financiamiento que suscriben las organizaciones a cargo de la gestión de comedores, y en el proyecto son la referencia para el desarrollo de producto.

Tal como se la oferta en los mercados tradicionales, la carne de llama presenta barreras de acceso. Habitualmente el producto se comercia en cuartos (de unos 10 kg) o fracciones, desanimando su incorporación a los menús, ya que las colaboradoras afrontan la elaboración diaria de entre 100 y 230 platos de comida, nutritivos, sabrosos, sanitariamente aptos, con alta organización del proceso y uso intensivo del tiempo de trabajo. Entonces se decidió diseñar el Paquetón Carnes Andinas, que agrupa porciones individuales como producto unitario de comercialización de 40 kg, para asegurar los requisitos nutricionales de las Guías, el aprovechamiento de la canal entera, y garantizar la conservación del producto fresco.

Caracterización del sistema productivo ganadero y oferta primaria

Las **carnes andinas** hacen referencia a las obtenidas de especies ganaderas de la región Puna y

¹² Se diferenció además entre cortes especiales con hueso (150 g) y hueso con carne (180 g)

Altoandina, (llamas y ovinos), criadas bajo sistema de manejo extensivo en entornos con clima extremo¹³. Estos **sistemas productivos** se desarrollan en áreas áridas y semiáridas, donde la ganadería está intrínsecamente vinculada a la cultura ancestral de los pueblos andinos. El manejo se basa en pastoreo en grandes áreas, incluyendo zonas comunales y predios individuales. Presentan una **baja receptividad**, dada la disponibilidad limitada de recursos naturales, restringiendo la cantidad de ganado que puede ser mantenido de manera sostenible; presentan alta resiliencia, ya que la capacidad de carga se mantiene en equilibrio con la oferta forrajera natural y la disponibilidad de agua, factores críticos que inciden en la calidad de los pastizales.

Los animales se crían bajo un **sistema pastoril** que aprovecha especies vegetales nativas, como *Stipa ichu* (iro), *Festuca dolichophylla* (chillagua) y *Cenchrus chilensis* (esporal), proporcionando una dieta natural. El acceso restringido al agua y el bache forrajero en primavera y principios de verano, afectan el rendimiento productivo para oferta durante un ciclo anual de necesidades. Se utilizan corrales y pircas de piedra para el manejo del ganado, con modalidad tradicional basada en prácticas intergeneracionales. En años recientes, adoptan tecnologías en la gestión hídrica y la suplementación alimenticia, contribuyendo a una mejora productiva.

La **diversificación productiva** es una estrategia para complementar los ingresos de las familias productoras, comercializando subproductos (fibra de llama, leche de cabra u oveja, quesos), con ingresos extra prediales (subsidios, trabajo temporario, remesas, empleo estatal, etc.). Viven una ruralidad en la que a menudo se les encuentra radicados en parajes o localidades cercanos a sus áreas de rodeo, donde disponen de escuela, centro de salud, o dependencias de administración pública. La crianza de llamas es en este sentido funcional a la espacialidad dispersa, ya que es un ganado que “se cuida solo”. Es habitual que las familias organicen la cotidianidad alrededor de la escuela en la semana, y realicen tareas de manejo ganadero en los fines de semana.

En relación a la oferta y su dimensionamiento, el área de análisis incluye las comisiones municipales que gestionan **Microrregión de Yavi**: Barrios, Yavi, Cangrejillos, El Cóndor y Pumahuasi, donde radican 30 comunidades aborígenes. Según el CNA 2018, las mayores existencias ganaderas corresponden a ovinos, luego llamas, (25% del total provincial de la especie) y caprinos y vacunos. (Gráfico N° 1).

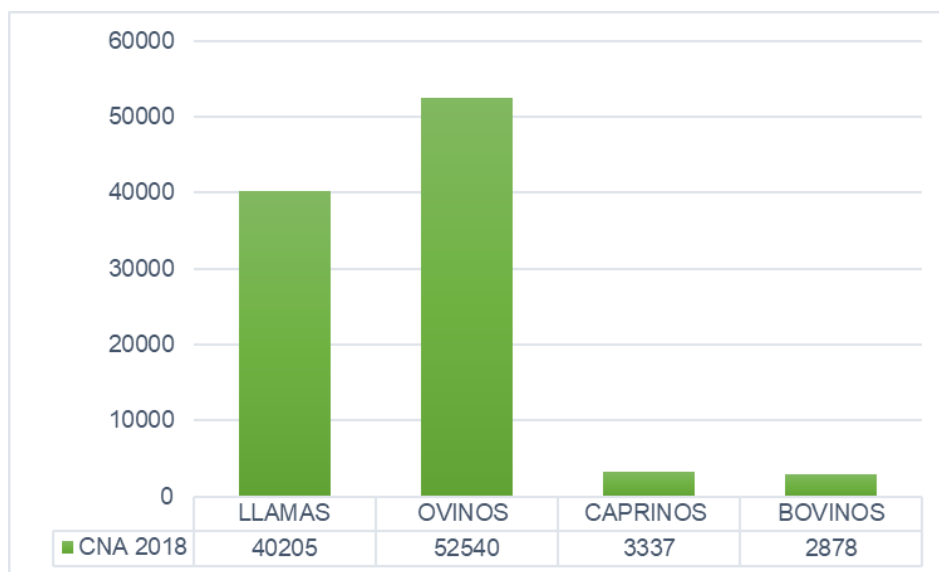


Gráfico 1: Existencias ganaderas en Microrregión de Yavi (Fuente: CNA 2018)

¹³ Precipitaciones anuales estivales entre 300 y 500 mm, altitudes sobre los 3000 msnm.

La tasa de extracción estimada para la categoría de maltones machos y capones se sitúa en un 7% del total del stock, según el análisis por categorías (Tabla N°2) Esto representa una oferta anual de 2.376 llamas, o 95.040 kg de carne.

CATEGORÍA	CANTIDAD	%
Llama macho	796	2
Llama hembra	15771	45
Maltón hembra	7845	23
<i>Maltón macho-capones</i>	2376	7
Teke hembras y machos	7925	23
Total	34713	100

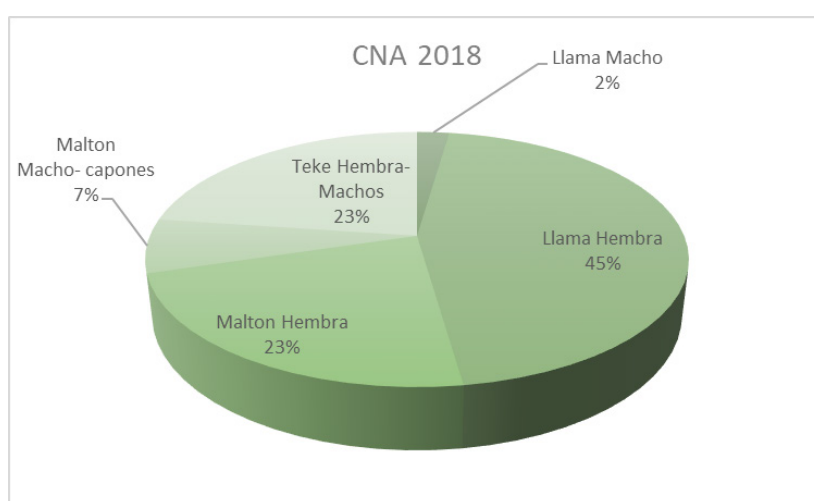


Tabla 2 y Gráfico 2: Categorías de llamas, y composición de la especie en porcentajes Departamento de Yavi (Fuente: CNA 2018)

Se ponderaron escala de producción y mejora en la eficiencia económica del sistema: La superficie en km² de cada departamento, la existencia de cabezas y la cantidad de productores registrados, permiten estimar: (a) % de animales por departamento en relación al total de Microrregión; (b) cantidad de cabezas de ganado por km²; (c) tamaño promedio de la tropa por productor; (d) proyección teórica promedio de saca de maltones en pie, y (e) disponibilidad semanal de animales en pie para faena.

Tabla 3: Estimación de Oferta de carne de llama en la cuenca de Microrregión, sala de faena de Barrios, (basado en CNA 2018 y CNP 2022, INDEC)

Departamento	Superficie en km ²	Cantidad de cabezas	% ⁽¹⁾	Cantidad Productores	Densidad ⁽²⁾	Tamaño de tropa	Proyección de faena ⁽³⁾	Reses a faena semanal ⁽⁴⁾
Yavi	628	3776	9	67	6	56,4	264	5
El Condor	438	11659	29	197	26,62	59,2	816	16
Pumahuasi	986	17503	44	292	17,75	59,9	1225	24
Cangrejillos	275	3966	10	69	14,4	57,5	278	5

Barrios	299	3139	8	49	10,5	64,06	220	4
Totales	2626	40043	100	674	15	59,41	2803	54

(1) Cantidad de cabezas / Km²; (2) Cantidad de cabezas/ productor (3) Cantidad de cabezas, anual, maltones machos (7%), rendimiento en carne: 40 kg. (4) Capacidad normal de faena en Barrios: 10/15 animales/día.

La oferta anual de carne en kg ascendería a 112.120 kg. Estas estimaciones permiten planificar los servicios de faena, (etapa de retiro de animales, disponibilidad de personal, recursos para una jornada de procesamiento). La demanda de los comedores asciende a 1726 kg de carne semanales (43 maltones); el máximo de extracción de maltones provee hasta 2160 kg de carne fresca¹⁴. El análisis demuestra que la producción de carne andina de calidad óptima tiene potencial para abastecer de manera sostenible la demanda, promoviendo un mercado de proximidad sin afectar los recursos ambientales disponibles, ni el estilo de vida.

Se verifica que la estacionalidad forrajera y la infraestructura de manejo son restricciones para asegurar la provisión anual de carne, que se vería afectada desde finales de primavera hasta el inicio de las lluvias en verano.

Eslabón Servicio de Faena

En la Puna de Jujuy existen dos salas de faena habilitadas; una de ellas opera desde 2019; ubicada en Barrios, es propiedad de Microrregión de Yavi. En 2018 obtuvieron financiamiento para instalar una planta de faena, adquirir un camión jaula (traslado de animales) y un camión con cadena de frío (transporte de carne). Esta inversión fue un salto adelante en el desarrollo de la actividad, al integrar la estructura de servicios esenciales que permite formalizar la CDV en todo el circuito, desde su cuenca.

La sala de faena está ubicada estratégicamente; a 281 km de San Salvador de Jujuy y 18 km de La Quiaca. Cuenta con una capacidad de faena de hasta 75 animales semanales. La operación requiere de 10 operarios (labores de faena, y apoyo logístico y administrativo), en jornadas de 8 horas.

El camión jaula tiene una capacidad de carga de 25 llamas, realizando trayectos promedio de 120 km (ida y vuelta) entre los predios de pastoreo y la sala de faena.

El camión refrigerado, puede transportar hasta 30 canales, y conecta Barrios con los puntos de consumo en un recorrido promedio de 600 km (ida y vuelta).

El modelo operativo de la sala de faena y el equipo adquirido es de carácter comunitario; las comisiones municipales asumen los costos de la mano de obra como fomento a la producción local. El precio del servicio se fija en términos de producto. Los derivados de la faena (pieles, vísceras, cabeza, patas) se entregan a los productores, cerrando el circuito productivo.

Procesamiento a producto final

Fue necesario diseñar un producto adaptado a los requerimientos de las cocineras. Describimos aquí el Paquetón Carnes Andinas, que demandaba la integración de un actor específico a la CDV, consolidando la gobernanza. La carnicería PUNA 1397 es una Sociedad Anónima Simplificada propiedad de una persona

¹⁴ De las pruebas realizadas, se logró estimar una pérdida real por el procesamiento de un 11%.

oriunda de la zona rural, y funciona en la capital desde agosto de 2019¹⁵. Compra la carne de la Microrregión, y en la ciudad se hace cargo del procesamiento, entrega a los comedores y factura. El establecimiento está equipado para realizar tareas de desposte, procesamiento y envasado de la carne¹⁶, cumplimentando normas sanitarias y bromatológicas. Dispone de un vehículo utilitario con cámara de frío habilitado.

Para el desarrollo del producto Paquetón Carnes Andinas se generó y recuperó información de las tres fases descriptas en Materiales y Métodos.

El recetario de comidas a base de carne de llama (1º fase) incluía instrucciones de elaboración e ingredientes necesarios. La variedad de platos preparados evidenció la versatilidad del producto, destacando el aprovechamiento de cortes diversos.

En la jornada de comercialización (2º fase) se lograron acordar para cada eslabón: modalidad de venta; precios de animal en pie; costo de faena y transporte; un techo para el precio de producto para las organizaciones; requisitos del producto para el adecuado desempeño de las colaboradoras. Así se lograba asegurar una relación equilibrada entre las necesidades de la demanda y la escala de provisión.

En relación al producto desarrollado (3º fase), se determinó el producto Paquetón Carnes Andinas, consistente en una unidad comercializable para unos cien menús por servicio, y tres servicios (una semana), con porciones de los cortes: pulpa molida, costillas, marucha, costeleta, carne con hueso y vacíos. (ver tabla N°4).

Tabla 4: Equivalencias según composición y volumen de productos. Por cantidad de unidades, según fraccionamiento. Base de Cálculo 40kg (Valores Aproximados).

Canal de maltón (composición) 40/50 kg	Embalaje al vacío (Agrupamiento en unidades de 6-7 kg)	Paquete 40 kg (unidad comercial)	Cantidad de Porciones (unidades de 100g, 150g y 180 g)
7,500 kg de carne molida	2 paquetes de carne molida	12 kg de pulpa molida	120 porciones (100 g)
8,000 kg de costilla		10 kg de hueso con carne	
2,200kg de vacío	2 paquetes de carne con hueso	6 kg de cortes especiales	80 porciones (150 g)
2,000 kg de hueso con carne (pérdida de corte)		2 kg de cortes especiales con hueso	
12,000 kg de hueso con hueso (puchero de 1º)	2 paquetes de cortes especiales con hueso ²	16 g de cortes especiales con hueso	107 porciones (180 g)
0,500 kg de garrón, grasa y aserrín ¹			

(1) perdida en procesamiento; (2) Incluye Costilla, Maruchas, Costeletas, Chuletas

La conservación del producto fraccionado era una restricción que se superó implementando envasado al vacío. La conservación, la manipulación y el acopio en los comedores fueron óptimos. Se elaboró

¹⁵ La trayectoria de este emprendimiento puede profundizarse en trabajo de PROCOAS, 2024.

¹⁶ Mesa de metal para desposte; Máquina sierra para cortes; Mesa para modelora; Moledora industrial; Exhibidor de carne; Mesada de acero inoxidable con pileta y agua de red. Freezers de Cajón, Envasadora al vacío.

un modelo de etiquetado, conforme a la normativa nacional. Se evaluaron condiciones del producto: relevancia, manipulación, composición, conservación, presentación, etiquetado y otras. Todas fueron resaltadas como muy positivas por las colaboradoras de los comedores¹⁷.

En síntesis, la elaboración del Paquetón Carnes Andinas armoniza las necesidades de las cuatro etapas: faena en origen; desposte en destino (manipulación de la canal); procesamiento (manipulación a porciones); envasado, etiquetado y distribución.

CONCLUSIONES

La integración de la carne de llama en el Programa “Abordaje Comunitario” puede beneficiar a unas 2,000 familias en situación de vulnerabilidad alimentaria. Las necesidades de los comedores comunitarios, obligan a evitar cuellos de botella que podrían comprometer el abastecimiento o aumentar los costos.

Reunir a los actores en un taller de comercialización aportó a la construcción de confianza y a la toma de decisiones. Las colaboradoras comprendieron la complejidad de la producción ganadera sustentable y los requisitos de manipulación en faena y transporte; los productores dimensionaron la tarea que las cocineras realizan para garantizar la alimentación de las infancias. Las prácticas de reconocimiento entre los actores con la participación de equipos técnicos de apoyo facilitaron la comunicación, relevaron necesidades y sintetizaron definiciones para la acción.

La producción de la cuenca genera una oferta anual teórica de 2,803 animales aptos para faena, volumen que satisface la demanda proyectada. Las existencias ganaderas y la tasa de extracción son afectadas por la estacionalidad forrajera y la limitada infraestructura de manejo.

En el eslabón de faena, la sala de Barrios destaca como un centro estratégico que formaliza el circuito productivo. Su capacidad operativa es adecuada; el modelo comunitario enfrenta desafíos con la logística y la mano de obra. En 37 semanas se podría faenar la totalidad de animales aptos, quedando un margen operativo. El transporte muestra una adecuada organización con camiones jaula y refrigerados; las distancias y la capacidad de carga podrían limitar la eficiencia ante picos de demanda.

La demanda de carnes andinas por comensal se estima de 1,600 kg/mes; para el total del programa, hacen 1900 kg semanales, la faena sustentable dispone de 2160 kg de carne. Este número teórico puede constituir el objetivo de desarrollo para los actores.

El procesamiento de la carne, realizado en instalaciones que cumplen con normas de calidad e inocuidad, garantiza la disponibilidad de productos listos para el consumo. El Paquetón Carnes Andinas, diseñado para los comedores comunitarios, evidencia una planificación que responde a las posibilidades y necesidades de los beneficiarios.

La capacidad productiva de la cuenca ganadera, la capacidad de faena y procesamiento de las unidades productivas, y la escala de demanda de los comedores, permiten integrar todos los eslabones, mejorando la eficiencia sin intensificar la carga en campo. El mercado resultante podría intensificar sus transacciones, sin demandar inversiones significativas en infraestructura, o en incremento de rodeos.

La elaboración de un producto según las necesidades de la demanda permitió convertir las limitaciones en oportunidades, superar las barreras de acceso, e integrar los principales eslabones de una CDV. Presenta una estructura funcional armónica, pero los desafíos asociados a la estacionalidad (producción primaria), la infraestructura, y la eficiencia operativa (procesamiento) pueden y deben ser mejorados.

¹⁷ Para todas las etapas y especificaciones técnicas en el desarrollo del Paquetón Carnes Andinas, ver Agostinho et al. CIITED (2024)

BIBLIOGRAFÍA

- Agustinho, M. A., Combina, M. I., Cruz, M., Chávez, S., Tolaba, E. & Vargas, R. I. (2023). Mercados de proximidad para las carnes andinas en Jujuy, Argentina, Año 2022. En *Actas de las XV Jornadas Nacionales de Investigadorxs en Economías Regionales*, pp 482-499. Ediciones del CEUR, Centro de Estudios Urbanos y Regionales, recuperado de <http://jnier-ceur.conicet.gov.ar/novedades.php>
- Agustinho, M. A., Combina, M. I., Domenech, S. P., & Vilardo, M. (2024). Políticas públicas para paliar el hambre en alianza con la ciencia y la tecnología. Impactos sobre la cadena de valor cárnica andina y mejora alimentaria en Jujuy, Argentina. [Ponencia]. *XIX Seminario Internacional de Procesos Cooperativos y Asociativos* (PROCOAS 2024), 14 y 15 de noviembre, Mar del Plata, Argentina.
- Agustinho, M. A., Combina, M. I., Domenech, S. P., González, C. B., Saravia, I. G. & Zerpa, D. F. (2024). Carnes andinas, mercado de proximidad y seguridad alimentaria en una CDV local: Desarrollo de un producto fresco con carne de llama. En *IV Jornadas Interdisciplinarias de Tecnología y Desarrollo Social*, (CIITeD), pp 138 a 164. San Salvador de Jujuy: EDIUNJU.
- Alcoba, L. N., Chávez, M. F. & Vittar, M. C. (2021). Las carniceras intermediarias: sujetos clave en la trama socioproductiva y comercial de la carne de llama, cordero y cabra de la Puna y Quebrada Jujeña. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Aleu, G. (2010): Determinación de los aspectos tecnológicos y nutricionales de la carne de llama (lama glaba). Tesis para Magíster en Tecnología de los Alimentos. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Católica de Córdoba. Recuperado en http://pa.bibdigital.ucc.edu.ar/662/1/TM_Aleu.pdf
- Arzabe, C., Rodríguez, T., Condori, G., Ayala, C., Claros, A., Martínez, Z., ... Álvarez, T. (2018). Determinación del rendimiento y la rentabilidad de los cortes menores de la carne de llama (Lama glama). *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 5, pp 116-124. Recuperado en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182018000300012&lng=es&tlng=es
- Cardozo, M. C. (Comp.) (2023): Libro de Actas III Jornadas de Investigación en Ciencias Económicas, Jurídicas y Sociales: Facultad de Cs. Económicas, Jurídicas y Sociales de la Universidad Nacional de Salta. Salta Capital: EUNSA.
- Cochi, N., Condori, G., Pilco, S., Rodríguez, T., & Martínez, Z. (2004). *Estudio de caso a la asociación de productores y comercializadores de productos cárnicos de camélidos (ACOPROCA), de la localidad de Palcoco*. Proyecto Desarrollo Sostenible de Productos Camélidos y Servicios de Mercadeo para la Región Andina (DECAMA-BOLIVIA).
- Echenique, M. (Ed.) (2015). La producción y comercialización de carne de la AF en la Puna Jujeña: análisis de los sistemas ganaderos, tramas comerciales y marcos normativos para el diseño de estrategias de desarrollo. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2021). Censo Nacional Agropecuario 2018, resultados definitivos. Recuperado en: https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018_resultados_definitivos.pdf
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial (2018). Fortalecimiento a la cadena de valor y comercialización de la carne de llama. Recuperado de <https://www.inti.gob.ar/noticias/21-asistencia-regional/1093-fortalecimiento-a-la-cadena-de-valor-y-comercializacion-de-la-carne-de-llama>

- Mamani-Linares, L. W. (2013). Composición de ácidos grasos y colesterol en la carne de llama (Lama glama). *Meat Science*, 94(1), 45-49. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.01.001>
- Mamani Linares, L. W., Cayo, F., & Gallo, C. (2014). Características de canal, calidad de carne y composición química de carne de llama: Una revisión. *Revista de Investigación Veterinaria del Perú*, 25(2), pp 123-150.
- Ministerio de Salud de la Nación (2020). Guías Alimentarias para la Población Argentina, Argentina. Recuperado en <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/bancos/2020-08/guias-alimentarias-para-la-poblacion-argentina.pdf>
- Polidori P, Antonini M, Torres D, Beghelli D, Renieri C. (2007). Tenderness evaluation and minerals levels of llama (Lama glama) and alpaca (Lama pacos) meat. *Meat Sci* 77: p 599.
- SIEMPRO (2021). *Reporte de Monitoreo de Comedores Escolares y Comunitarios, 2° trimestre 2021*. Argentina: Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales. Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/reporte_de_monitoreo_comedores_1deg_trimestre_2021vf.pdf
- Tolaba, E. (2022). Hacia una estructura de costos en producción de carne de llama, eje central de la CDV. La Plata: *XLV Congreso argentino de profesores universitarios de costos*.
- Vallejos Cabada, M. P. (2018). Comparación del rendimiento de cortes y calidad de carne de bovinos de raza Fleckvieh, Hereford y Brahman engordados en sistema intensivo en costa Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.unalm.edu.pe/handle/UNALM/12345>
- Vidal Castro, G., Acerbi, M., & Lacanna, C. (2005). Pasado andino y futuro gourmet. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Recuperado de https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/revista/html/31/31_05_carne_llama.htm

Agraria

ACTIVIDAD INHIBITORIA DE BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICA PRODUCTORAS DE RIBOFLAVINA FRENTE A PATÓGENOS DE *Apis mellifera*

INHIBITORY ACTIVITY OF RIBOFLAVIN-PRODUCING LACTIC ACID BACTERIA AGAINST PATHOGENS OF *Apis mellifera*

Cabana, M. J.^{1*}, LeBlanc, J. G. J.² y Benítez Ahrendts, M. R.^{1,3}

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy, Alberdi 47, San Salvador de Jujuy, Provincia de Jujuy, Argentina

² CERELA-CONICET-FML-FECIC, Chacabuco 145, San Miguel de Tucumán, Provincia de Tucumán, Argentina

³ Instituto de Ecorregiones Andinas (INECOA-CONICET), Provincia de Jujuy, Argentina

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

Período de Publicación:
Diciembre 2025

Historial:
Recibido: 09-09-25
Aceptado: 21-11-25

RESUMEN

Ascosphaera (A.) apis y *Paenibacillus (P.) larvae* son patógenos que afectan la microbiota intestinal de las larvas de *Apis mellifera*, generando estrés oxidativo y elevada mortalidad, lo que representa un desafío para la sanidad apícola. El objetivo de este estudio fue evaluar *in vitro* el efecto inhibitorio de bacterias lácticas (BL) probióticas y su capacidad de producir riboflavina (B₂), considerando su potencial aplicación en la salud intestinal larval. A partir del polen se aislaron tres cepas correspondientes a: *Apilactobacillus kunkeei*, *Lactobacillus helsingborgensis*, *Lactobacillus melliventris*. Ajustadas a 10⁸ UFC/mL, se evaluó su actividad inhibitoria en dos modalidades: como cultivo bacteriano (CB) y como sobrenadante libre de célula (SLC). Para *A. apis*, se inocularon 20 µL de los CB o SCL sobre medio MY20, se incubaron 30°C por 7 días y se midió el diámetro del crecimiento fúngico. En el caso de *P. larvae*, se aplicaron 25 µL de los CB o SCL en orificios realizados en medio MYPG inoculado con 20 µL del patógeno, se incubó a 37°C por 24h y se registraron los halos de inhibición. La producción de riboflavina se determinó mediante el cultivo de las BL en medio CDM sin riboflavina a 37°C por 24h se observó turbidez como indicador de síntesis. Los datos se analizaron mediante ANOVA y test de Tukey (p<0,0001). Los resultados mostraron que tanto el CB como el SCL de las tres cepas ejercieron inhibición a ambos patógenos. Se destacó que el CB de *A. kunkeei* logró controlar más del 90% de *A. apis* y presentar una inhibición elevada frente a *P. larvae*. Así mismo, todas las cepas evaluadas produjeron riboflavina, lo que resalta su potencial funcional. En conclusión, *A. kunkeei* se perfila como biocontrolador eficaz, capaz de contribuir a la homeostasis intestinal de las larvas mediante la producción de riboflavina y presentar una estrategia prometedora para la sanidad apícola.

Palabras clave: biocontrolador, lactobacilos, patógenos

SUMMARY

Ascosphaera apis and *Paenibacillus larvae* are pathogens that disrupt the gut microbiota of *Apis mellifera* larvae, causing oxidative stress and high mortality, thus posing a major challenge for beekeeping health. This study aimed to evaluate the *in vitro* inhibitory effect of probiotic lactic acid bacteria (LAB) and their ability to produce riboflavin (B2), considering their potential application to improve larval gut health. Three strains were isolated from pollen and identified as *Apilactobacillus kunkeei*, *Lactobacillus helsingborgensis*, and *Lactobacillus melliventris*. Adjusted to 10^8 CFU/mL, their inhibitory activity was tested in two ways: bacterial culture (CB) and cell-free supernatant (SLC). For *A. apis*, 20 μ L of CB or SLC were inoculated onto MY20 medium, incubated at 37 °C for 7 days, and fungal growth diameter was measured. For *P. larvae*, 25 μ L of CB or SLC were applied into wells made in MYPG medium inoculated with 20 μ L of the pathogen, followed by incubation at 37 °C for 24 h and measurement of inhibition halos. Riboflavin production was assessed by cultivating LAB in CDM medium without riboflavin at 37 °C for 24 h, with turbidity used as an indicator of synthesis. Data were analyzed using ANOVA and Tukey's test ($p < 0.0001$). Results showed that both CB and SLC from the three LAB strains significantly inhibited the pathogens. Notably, the CB of *A. kunkeei* exhibited the strongest activity, achieving over 90% inhibition of *A. apis* and high inhibition against *P. larvae*. Additionally, all strains produced riboflavin, confirming their functional potential. In conclusion, *A. kunkeei* emerges as a promising biocontrol agent, capable of contributing to larval gut homeostasis through riboflavin production and providing an innovative strategy for improving honeybee health.

Keywords: biocontrol, lactobacilli, pathogens

INTRODUCCIÓN

Las abejas (*Apis mellifera* L.) cumplen un rol fundamental en el equilibrio de los ecosistemas como en la producción agrícola (Papa *et al.*, 2022). Sin embargo, su salud y supervivencia se ven comprometidas por múltiples factores, entre los que se destacan, el uso de pesticidas y agroquímicos, el cambio climático, la presencia de patógenos y parásitos, entre otros, que en muchos casos puede ocasionar la muerte de las colonias (Goulson *et al.*, 2015).

En relación a los patógenos, una de las enfermedades relevantes es la loque americana causada por la bacteria *Paenibacillus larvae*. Según Nilsson y colaboradores (2024), las abejas pueden infectarse a través de la ingestión de alimentos contaminados con esporas de *P. larvae*, que afectan principalmente a las crías, larvas y, en consecuencia a colonias enteras.

Genersch (2010) señala que la ingestión de apenas diez esporas de *P. larvae* resulta suficiente para desencadenar la infección, provocando la muerte de la pupa y larva. Una vez en el organismo, las esporas germinan en el intestino medio, donde se multiplican, atraviesan el epitelio e invaden el hemocelo de las larvas. Posteriormente, se produce la descomposición del intestino, lo que da lugar a la aparición de una masa marrón y viscosa con elevada cantidad de esporas bacterianas, favoreciendo la diseminación del patógeno dentro de la colonia.

Las larvas muertas son retiradas por las abejas nodrizas, que al limpiar las celdas incorporan de manera involuntaria las endosporas de la loque americana. Este proceso facilita la dispersión del patógeno dentro de la colonia y aumenta el riesgo de infección de las larvas restantes (Genersch, 2010). Además, Erban y colaboradores (2017) reportaron que las abejas adultas expuestas a *P. larvae* presentan alteraciones significativas en el microbioma intestinal, lo que sugiere un impacto más amplio de la enfermedad en la fisiología de la colmena.

Las colonias infectadas pueden ser tratadas con antibióticos como oxitetraciclina y tilosina (Tsourkas, 2020); sin embargo, su aplicación ha sido asociada con alteraciones en la microbiota intestinal de las abejas y con efectos adversos sobre el ambiente (Bulson *et al.*, 2021). Como alternativa, se ha propuesto el empleo de bacteriófagos, capaces de infectar y lisar específicamente a *P. larvae*, presentado una estrategia biocontroladora prometedora (Brady *et al.*, 2017).

Por otra parte, *A. mellifera* también se ve afectada por el hongo *Ascosphaera apis*, agente etiológico de la ascosferosis. La infección ocurre por la ingestión de alimentos contaminados con ascoporas, las cuales germinan dentro del intestino de las larvas, provocando un proceso de momificación. El resultado es la presencia de larvas secas con un aspecto blanquecino o, en estadios avanzados, marrón a negro (Aronstein *et al.*, 2010; Fan *et al.*, 2024).

Estudios realizados por Li y colaboradores (2020) demostraron que *A. apis* induce estrés oxidativo en larvas de abejas, lo que conlleva una disminución de la actividad enzimática de SOD (superóxido dismutasa), CAT (catalasa) y GST (glutación S-transferasa), enzimas claves en la protección de las células intestinales frente al daño oxidativo. De manera similar Moliné y colaboradores (2021) determinaron que *P. larvea* también promueve la acumulación de especies reactivas de oxígeno, generando estrés oxidativo y afectando particularmente la actividad de la enzima GST.

En relación al control de ascosferosis, hasta al momento no se han registrado tratamientos terapéuticos eficaces que sean, al mismo tiempo, seguros y respetuosos con el ambiente. Algunas de las estrategias exploradas incluyen modificaciones genéticas en el moho para reducir su capacidad de infección (Aynalem *et al.*, 2022), y el uso de agentes biocontroladores, como extractos de plantas con propiedades antifúngicas (Krutmuang *et al.*, 2022).

Una alternativa para el control de estas enfermedades es el uso de bacterias lácticas (BL) con propiedades probióticas, definidas como microorganismos vivos, que al ser administrados, confieren beneficios a la salud del hospedador mediante la mejora y restauración de la microbiota intestinal (Thorakkattu *et al.*, 2022).

Diversos estudios han demostrado el potencial de estas bacterias frente a patógenos apícolas. Iorizzo y colaboradores (2020, 2021) reportaron el efecto inhibitorio *in vitro* de *Apilactobacillus kunkeei* y *Lactobacillus plantarum* sobre *A. apis*. De manera complementaria Ye y colaboradores (2021) destacaron la relevancia de la abundancia de *Lactobacillus* en la microbiota intestinal de las abejas, ya que su presencia contribuye a disminuir la infección causada por este hongo.

En relación con *P. larvae*, investigaciones recientes por Truong y colaboradores (2023) evidenciaron que *L. apis* HSY8_B25, *L. panisapium* PKH2_L3 y *L. melliventris* HSY3_B5 ejercen un efecto significativo en la inhibición del desarrollo del patógeno.

Así mismo, se han llevado a cabo ensayos utilizando tanto el cultivo bacteriano (CB) como el sobrenadante libre de célula (SLC) de diferentes cepas de BL, obteniéndose resultados variables en su capacidad inhibitoria frente *A. apis* y *P. larvae* (Iorizzo *et al.*, 2021; Nilsson *et al.*, 2024; Babrud *et al.*, 2019).

Cabe destacar que el efecto inhibitorio de las bacterias lácticas (BL) se asocia a la producción conjunta de diversos compuestos bioactivos, tales como, proteínas, péptidos, ácidos grasos, ácidos orgánicos y peróxidos de hidrogeno (Berríos *et al.*, 2018). Dentro de estos metabolitos se incluyen vitaminas del complejo B (LeBlanc *et al.*, 2011), entre las que sobresale la riboflavina (vitamina B₂), fundamental para la homeostasis celular al ser, precursora del mononucleótido de flavina (FMN) y del dinucleótido de flavina adenina (FAD), cofactores indispensables en reacciones de metabolismo redox (Lei *et al.*, 2021). Entre los beneficios atribuidos a la riboflavina se encuentran la prevención del daño oxidativo, la reducción de procesos inflamatorios y la modulación favorable de la microbiota intestinal (Zhu *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2024).

En este contexto, la microbiota intestinal de las abejas adquiere un papel central en la regulación en la salud de la colonia. La incorporación de cepas probióticas como parte de las prácticas apícolas se presenta como una alternativa segura y prometedora frente a los métodos convencionales basados en antibióticos o antifúngicos, los cuales pueden generar efectos adversos tanto en el organismo de las abejas como en el ambiente. Así el uso de BL con propiedades probióticas se proyecta como una estrategia sostenible para reforzar la salud intestinal, mejorar la resistencia frente a patógenos y, en consecuencia, contribuir al bienestar y productividad de las colmenas (Abdi *et al.*, 2023).

Es por ello que, el laboratorio de Sanidad Apícola y Meliponícola de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNJu, se seleccionaron tres bacterias lácticas aisladas del polen conservado con potencial probiótico: *Apilactobacillus kunkeei* (LSAJ), *Lactobacillus melliventris* (LSAI) y *Lactobacillus helsingborgensis* (LSAM) (Cabana *et al.*, 2021). A partir de esta selección, surgieron los siguientes interrogantes: ¿Estas bacterias lácticas son capaces de afectar el crecimiento *in vitro* de cepas de *A. apis* y *P. larvae*?, y además, ¿Pueden producir riboflavina, contribuyendo con ello – junto a otros metabolitos – a la homeostasis intestinal de las abejas?

En este marco, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto inhibitorio *in vitro* de *Apilactobacillus kunkeei*, *Lactobacillus helsingborgensis*, *Lactobacillus melliventris* tanto en su forma de cultivo bacteriano (CB) como en su sobrenadante libre de célula (SLC) sobre dos cepas de *A. apis* y una de *P. larvae*. Así mismo, se propuso determinar la capacidad de producción de riboflavina por parte de dichas cepas de bacterias lácticas, considerando el potencial aporte de este compuesto bioactivo a la salud intestinal y al fortalecimiento del sistema defensivo de las abejas.

MATERIAL Y MÉTODO

Activación de las bacterias lácticas

Para la obtención de los cultivos bacterianos (CB), las cepas lácticas fueron activadas en 5 mL de caldo Man, Rogosa y Sharpe (MRS) e incubadas durante 24 h a 37 °C en condiciones de microaerofilia, hasta alcanzar una concentración aproximada de 10⁸ UFC/mL.

En el caso del sobrenadante libre de célula (SLC), las BL fueron activadas en las mismas condiciones descriptas anteriormente. Transcurrido las 24 h de incubación, los cultivos fueron centrifugados a 6000 x g por 5 min, recuperándose el sobrenadante libre de células, que fue utilizado para los ensayos posteriores.

Ensayo de inhibición contra *A. apis*

Las cepas fúngicas utilizadas en este estudio fueron proporcionadas por el Laboratorio de Sanidad Apícola y Meliponícola (Facultad de Ciencias Agrarias- Universidad Nacional de Jujuy). Dichas cepas fueron aisladas a partir de pólenes comerciales de Argentina, identificadas genéticamente y depositadas en base GenBank (NCBI) con los siguientes números de acceso: *Ascosphaera apis* LSAPPER (MH633695) de Entre Ríos y *Ascosphaera apis* LSAPPMis (MH633694) de Misiones. Ambas cepas se conservaron a 4°C en

medio de cultivo agarizado MY20 (Takatori & Tanaka, 1982).

Para los ensayos de inhibición, se depositaron 25 µL de cada cultivo bacteriano (CB) o de su sobrenadante libre de células (SCL) sobre placas de medio MY20 agarizado, distribuyéndose el inóculo con espátula de Drigalsky. En el centro de cada placa se colocó un disco de 7 mm de diámetro de cultivo fúngico, obtenido mediante un sacabocado a partir cultivos mixtos de cepas de polaridad sexual opuesta. Las placas se incubaron a 30 °C en condiciones de microaerofilia por 7 días. Como controles, se prepararon placas inoculadas únicamente con las cepas fúngicas.

Transcurrido 7 días de incubación, se evaluó el crecimiento fúngico mediante la observación del aspecto colonial y la medición del diámetro en los controles y en los tratamientos. Todos los ensayos se realizaron por quintuplicado para cada cepa bacteriana.

El porcentaje de inhibición del crecimiento micelial se calculó empleando la siguiente formula de Iorizzo *et al.*, (2020):

$$\% I = [1 - (D_s / D_c)] \times 100. I \%:$$

Donde D_s corresponde al diámetro de las hifas tratadas y D_c al diámetro de las hifas en los controles.

Ensayo de inhibición contra *P. larvae*

La cepa de *P. larvae* utilizada en este estudio fue cedida por el laboratorio de Sanidad Apícola de la Facultad de Ciencias Agrarias-Unju. El patógeno se reactivó en 10 mL de caldo MYPGP a 37°C durante 16 h en condiciones de microaerofilia, siguiendo el protocolo descripto por Forsgren y Laugen (2014).

Para evaluar el efecto inhibitorio de las bacterias lácticas, se empleó la técnica de difusión en placa (Reis *et al.*, 2016). Esta consistió en suspender 20 µL del patógeno ajustada a una concentración de 1×10^7 UFC/mL sobre placas de Petri estériles, a las que posteriormente se les vertió medio MYPGP agarizado. Una vez solidificado el medio de cultivo, se realizaron orificios de 5 mm de diámetro utilizando un sacabocado estéril.

En cada orificio se depositaron 25 µL de cada cultivo bacteriano (CB) o de sus sobrenadantes libre de célula (SLC) de las bacterias. Las placas se incubaron por 24 h a 37 °C en condiciones de microaerofilia. Todos los ensayos se realizaron por quintuplicado. El efecto inhibitorio se determinó por la presencia de halos transparentes alrededor de los orificios, los cuales se midieron en milímetros para cuantificar la actividad antimicrobiana.

La interpretación de los halos de inhibición se realizó siguiendo la escala propuesta por Dengiz y colaboradores (2025), clasificando el diámetro de las zonas transparentes como: inhibición débil (16-20 mm), inhibición moderada (21-24 mm), inhibición alta (25-30 mm) e inhibición fuerte (>30 mm).

Determinación de la producción de riboflavina (B2)

La determinación de riboflavina por las cepas lácticas se evaluó empleando el medio químico definido CDM (medio) descrito por Yao y colaboradores (2018), modificado mediante la exclusión de riboflavina en su composición.

Las cepas de lactobacilos fueron activadas durante 24 h en 5 mL de caldo MRS a 37 °C en condiciones de microaerofilia. Transcurrido este tiempo, se tomó 1 mL de cada cultivo y se centrifugo a 6000 x.g durante 15 min. Los sobrenadantes fueron descartados y los sedimentos celulares se lavaron 3 veces con solución salina estéril al 0,85%. Posteriormente los *pellets* bacterianos se resuspendieron en un volumen

equivalente al cultivo original para estandarizar la concentración celular.

Cada suspensión bacteriana se inoculó al 2 % (v/v) en tubos que contenían el medio de cultivo CDM. Los cultivos se incubaron a 37 °C durante 24 h en condiciones de microaerofilia. Al finalizar el período de incubación, se evaluó la presencia o ausencia de turbidez visible como indicador del crecimiento bacteriano dependiente de la síntesis endógena de riboflavina. Cada ensayo se realizó en siete repeticiones para garantizar la reproducibilidad de los resultados.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Los datos obtenidos se procesaron utilizando el software estadístico INFOSTAT (versión 2023). Los resultados se expresaron como media ± desviación estándar (DE). Se aplicó un análisis de la varianza (ANOVA) bajo un diseño completamente al azar (DCA) para evaluar diferencias estadísticas entre tratamientos. Cuando se detectaron diferencias estadísticas se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para la separación de medias, siguiendo el criterio descripto por Di Rienzo y colaboradores (2011).

RESULTADOS

Inhibición de los CB y el SLC de bacterias lácticas contra A. apis

Se evaluó el porcentaje de inhibición del crecimiento fúngico mediante la aplicación de los cultivos bacterianos (CB) y los sobrenadantes libres de célula (SLC) de las bacterias lácticas (Tabla 1). Todas las cepas analizadas mostraron actividad inhibitoria frente las dos cepas de A. apis (LSAPPMis y LSAPPER), con porcentajes de inhibición que oscilaron entre un 43 a un 95%.

Tabla 1: Porcentaje de inhibición (media ± DE) de las matrices cultivo bacteriano (CB) y sobrenadante libre de célula (SLC) de las bacterias lácticas sobre la expansión radial de hongos de A. apis (LSAPPMis-LSAPPER)

		Porcentaje de inhibición (media ± DE)	
Bacterias lácticas	Matriz	A. apis (LSAPPMis)	A. apis (LSAPPER)
A. kunkeei	CB	95,0 ± 0,4	90,0 ± 0,7
	SLC	73,0 ± 2,0	59,0 ± 2,0
L. helsingborgensis	CB	93,0 ± 2,0	67,0 ± 2,0
	SLC	68,0 ± 2,0	54,0 ± 4,0
L. melliventris	CB	90,0 ± 1,0	62,0 ± 2,0
	SLC	43,0 ± 3,0	43,0 ± 3,0

El análisis estadístico evidenció diferencia significativa (p <0,0001) entre tratamientos. El test de tukey indicó que los cultivos bacterianos (CB) presentaron una actividad antifúngica significativamente superior a los sobrenadantes libre de células (SLC). Entre las cepas evaluadas el CB de A. kunkeei mostró la mayor inhibición del crecimiento fúngico, alcanzando un 95 % de control sobre A. apis LSAPPMis, seguida por L. helsingborgensis y L. melliventris.

Aunque los SLC de las BL también presentaron actividad antifúngica sobre *A. apis*, su efecto fue menor en comparación con los CB. Entre ellos, el sobrenadante de *A. kunkeei* resultó más eficaz, seguido por el de *L. helsingborgensis*, y en último lugar, el de *L. melliventris*. (Fig.1).

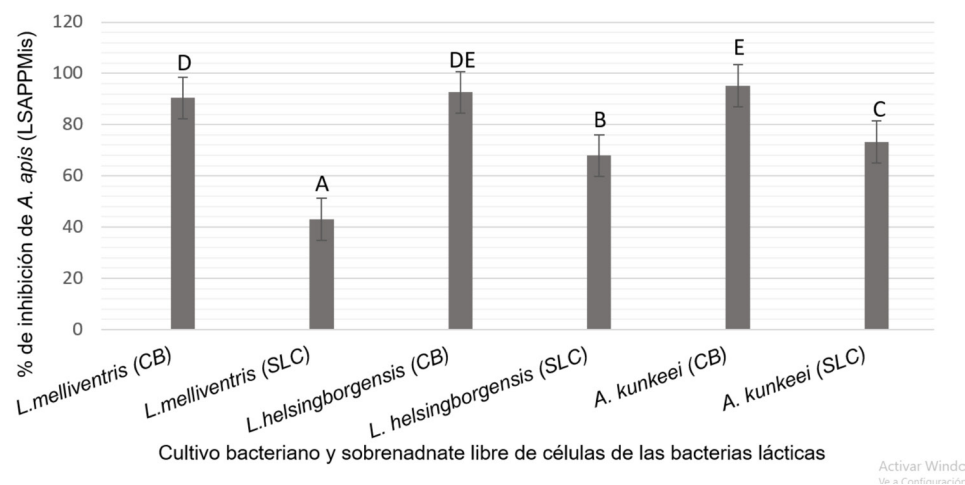


Figura 1: Efecto inhibitorio sobre el desarrollo del hongo *A. apis* (LSAPPMis) ejercidos por cultivos bacterianos (CB) y sobrenadantes libres de célula (SLC) de las cepas lácticas *A. kunkeei*, *L. helsingborgensis*, *L. melliventris*. Diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$; prueba de Tukey).

En relación a *A. apis* (LSAPPER), el análisis estadístico mostró diferencia significativa en el efecto inhibitorio de las cepas evaluadas ($p < 0,0001$). El test de Tukey evidenció variaciones en la acción de los cultivos bacterianos (CB) y los sobrenadantes libres de célula (SLC). El CB de la cepa *A. kunkeei*, presentó la mayor inhibición significativa sobre el desarrollo del hongo, seguido por el CB de *L. helsingborgensis*. En cambio, el CB de *L. melliventris* y SLC de *L. helsingborgensis* no mostraron diferencias estadísticas entre sí.

Todas los SLC demostraron capacidad antifúngica, destacándose *A. kunkeei*, seguido por *L. helsingborgensis*. Sin embargo, el CB de *A. kunkeei* alcanzó el mayor promedio de inhibición, logrando aproximadamente un 90% del control del crecimiento de *A. apis* (LSAPPER) (Fig 2).

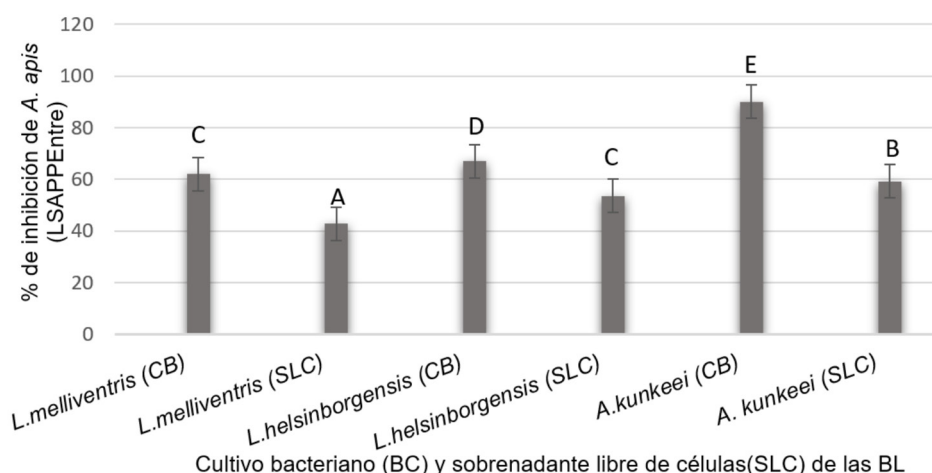


Figura 2: Efecto inhibitorio ejercido por los cultivos bacterianos (CB) y sobrenadantes libres de células (SLC) de las cepas lácticas *A. kunkeei*, *L. helsingborgensis* y *L. melliventris* sobre el desarrollo del hongo *A. apis* (LSAPPEntre). Diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$; prueba de Tukey).

Inhibición de los CB y el SLC de bacterias lácticas contra *P. larvae*

Se registraron las zonas de inhibición obtenidas a partir de los CB y los SLC de las cepas lácticas frente *P. larvae* clasificadas según la escala propuesta por Dengiz y colaboradores (2025) y expresadas con sus respectivas desviaciones estándar (Tabla 2). Se observó una inhibición alta del cultivo bacteriano (CB) de *A. kunkeei*, seguido por *L. helsingborgensis*, que presentó un efecto moderado. En contraste, los SLC de las tres cepas lácticas generaron únicamente zonas de inhibición débil.

Tabla 2: Zonas de inhibición obtenidas sobre *P. larvea* por cultivo bacteriano (CB) y sobrenadante libre de célula (SLC) de cepas lácticas, clasificadas según los criterios de Dengiz y colaboradores (2025).

Bacterias lácticas	Matrices	diámetro de inhibición de <i>P. larvae</i> (media ± DE)	Clasificación de zona de inhibición
<i>A. kunkeei</i>	CB	29,0 ± 0,8	alta
	SLC	18,0 ± 0,4	débil
<i>L. helsingborgensis</i>	CB	23,0 ± 0.9	moderada
	SLC	13,0 ± 0,8	débil
<i>L. melliventris</i>	CB	17,0 ± 0,6	débil
	SLC	10,0 ± 0,4	débil

El análisis estadístico mostró diferencias altamente significativas en el efecto inhibitorio de las cepas láctica frente a *P. larvae* (p<0,0001). El test de tukey reveló que el CB de *A. kunkeei* presentó el mayor efecto de inhibitorio sobre el crecimiento de *P. larvae*, seguido por *L. helsingborgensis* aunque con un menor impacto. En cambio, *L. melliventris* y la SLC de *A. kunkeei* no mostraron diferencias significativas entre sí. Por su parte, los SCL de *L. melliventris* y *L. helsingborgensis* fueron los que exhibieron la menor actividad inhibitoria sobre el patógeno (Fig.3).

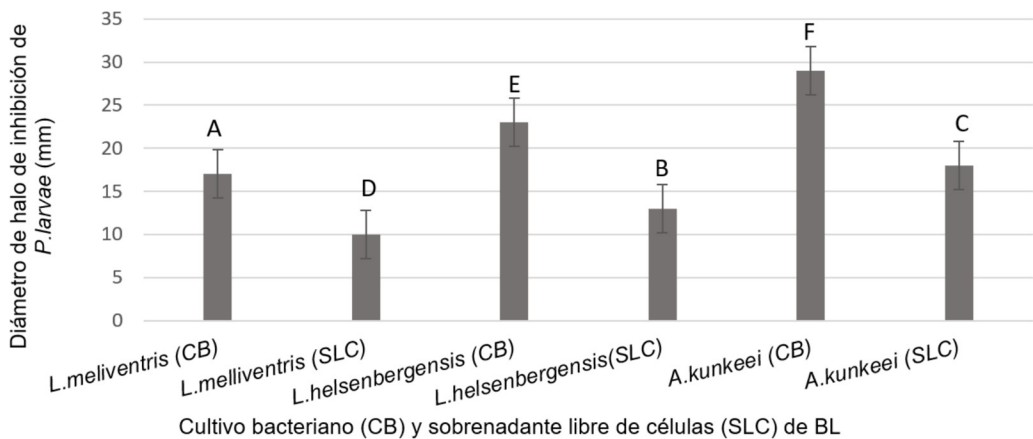


Figura 3: Efecto inhibitorio ejercido por los cultivos bacterianos (CB) y sobrenadantes libres de células (SLC) de *A. kunkeei*, *L. helsingborgensis*, *L. melliventris* sobre el desarrollo de *P. larvae*. Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05; prueba de Tukey).

Producción de riboflavina de las bacterias lácticas

Las cepas *A. kunkeei*, *L. melliventris* y *L. helsingborgensis* mostraron la capacidad para producir turbidez en el medio de cultivo definido (CDM) carente de riboflavina, en las siete repeticiones realizadas. Estos resultados evidencian que las tres cepas lácticas poseen la capacidad de sintetizar vitamina B₂, lo que podría contribuir a la homeostasis intestinal y a los efectos probióticos observados en estudios previos.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran que tanto los cultivos bacterianos (CB) y sobrenadantes libres de célula (SLC) de las bacterias lácticas evaluadas ejercen control sobre *Ascospaera apis* y *Paenibacillus larvae*. Se observó que los CB presentaron mayor efecto inhibitorio, tanto antibacteriano y como antifúngico, en comparación con sus SLC, destacando especialmente el CB de *A. kunkeei*.

El efecto de los CB podría explicarse por la competencia por espacio y nutrientes, así como por la acción de componentes generados de la pared celular que producen actividad antimicrobiana, tal como reportaron Iorizzo y colaboradores (2020). Además, Bazukyan & colaboradores (2018) señalaron que proteínas activas, como proteinasas, contribuyen a la actividad antibacteriana y antifúngica. Åvall-Jääskeläinen & Palva (2005) y Janashia & colaboradores (2018), indicaron que proteínas glucolíticas y ribosómicas presentes en la superficie de las celular pueden formar biopelículas y ejercer funciones antimicrobianas.

En cuanto a los SLC, su efecto inhibitorio se relaciona con la producción de metabolitos secundarios, incluyendo ácidos orgánicos (láctico, acético, fórmico, butírico, propiónico), bacteriocinas, peróxido de hidrógeno, lisozima, CO₂ y diacetilo, que actúan de manera individual o sinérgica para inhibir el crecimiento de los patógenos (Cirat *et al.*, 2024). Las diferencias observadas entre las cepas se deben a la variabilidad intraespecífica de las bacterias lácticas, concordando con Mishra & Acharya (2021) y Dengiz *et al.*, (2025).

La mayor actividad de *A. kunkeei* puede atribuirse a la sinergia entre varios compuestos que son extracelulares como intercelulares, que potencia su efecto antimicrobiana y antifúngica (Iorizzo *et al.*, 2021).

Por otro lado, *P. larvae* y *A. apis* generan estrés oxidativo en la microbiota intestinal disminuyendo la actividad de enzimas antioxidantes como SOD, CAT y GST (Li *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2023; Moliné *et al.*, 2024). La producción de riboflavina por las bacterias lácticas podría mitigar estos efectos al favorecer la actividad de dichas enzimas y estabilizar la capacidad antioxidante del intestino (Suwannasom *et al.*, 2020). Asimismo, la riboflavina contribuye a la síntesis de butirato mediante la enzima butiril-CoA deshidrogenasa, ejerciendo efectos antiinflamatorios y manteniendo la integridad de la barrera intestinal (Liu *et al.*, 2023).

En nuestros ensayos, se determinó que las BL producen riboflavina, la cual podría influir en la regulación de la especies reactivas del oxígeno (ROS) generadas por *A. apis* y *P. larvae* en la microbiota intestinal, contribuyendo a disminuir el estrés oxidativo. Estos resultados coinciden con lo reportado por Suwannasom y colaboradores (2020), quienes demostraron que la riboflavina modula las concentraciones y la actividad de enzimas antioxidantes como la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT) y la glutación peroxidasa (GPx), favoreciendo su función y fortaleciendo la capacidad antioxidante de la microbiota intestinal y beneficiando la salud.

Asimismo, la riboflavina podría contribuir a la microbiota intestinal y a la salud de las abejas frente a estos patógenos y otros factores que afecten su salud mediante la producción de la enzima butiril-CoA deshidrogenasa, que actúa como cofactor para la producción de butirato (ácido graso de cadenas cortas) en el intestino, generando efectos antiinflamatorios, manteniendo la permeabilidad de la barrera

intestinal (Liu *et al.*, 2023).

Los resultados mostraron que las tres cepas lácticas presentaron un mayor efecto inhibitorio en su forma de cultivo bacteriano (CB) frente a los patógenos, en comparación con sus sobrenadantes libres de célula (SLC), lo que sugiere que estas cepas podrían ser más efectivas cuando se emplean como CB. En particular, *A. kunkeei* mostró un potencial destacado para modular la microbiota intestinal y preservar la salud de *A. mellifera*. Esto coincide con lo señalado por Motta & Moran (2024), quienes destacaron que la protección de la microbiota intestinal de las abejas es fundamental para regular su entorno intestinal, reforzar la defensa frente patógenos y favorecer procesos como la digestión, la desintoxicación y la función del sistema inmunológico.

CONCLUSIÓN

Esta investigación demostró que *L. helsingborgensis*, *L. melliventris* y *A. kunkeei* ejercieron un efecto inhibitorio, tanto en su forma de cultivo bacteriano (CB) como en sus sobrenadantes libres de célula (SLC) frente a cepas de *A. apis* y *P. larvae*. Asimismo, se confirmó que las tres cepas son capaces de producir riboflavina. Sin embargo, el mayor efecto antibacteriano y antifúngico se observó en *A. kunkeei*, en su estado de cultivo bacteriano (CB), lo que la posiciona como una cepa con alto potencial para el biocontrol de patógenos y para contribuir a la protección y el fortalecimiento de la salud de las abejas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdi, K., Said, M.B., Crotti, E.; Masmoudi, A.S., & Cherif, A. (2023). The promise of probiotics in honeybee health and disease management. *Arq. Microbiol*, 205 (2):73.
- Aronstein, K. A., Murray, K. D., & Saldivar, E. (2010). Transcriptional responses in honey bee larvae infected with chalkbrood fungus. *BMC Genomics*, 11(1):391.
- Åvall-Jääskeläinen, S., & Palva, A. (2005). Lactobacillus surface layers and their applications. *FEMS Microbiol. Rev*, (29): 511–529.
- Aynalem, T., Meng, L., Getachew, A., Wu, J., Yu, H., Tan, J., & Li, N. (2022). La mutación del gen StcU-2 a través de CRISPR/Cas9 conduce a una mala regulación de la formación de quistes de esporas en *Ascosphaera apis*. *Microorganismos*, (10),10:2088.
- Babrud, B. R., Kermanshahi, K.R., Sede, M. F., & Moosavinejad, S.Z. (2019). El efecto del sobrenadante libre de células de *Lactobacillus reuteri* sobre el crecimiento y la formación de biopelículas de larvas de *Paenibacillus*. *J Vet Res*, 20(3):192-198.
- Bazukyan, I., Matevosyan, L., Toplaghaltsyan, A., & Trchounian, A. (2018). Antifungal activity of lactobacilli isolated from Armenian dairy products: an effective strain and its probable nature. *AMB Express*, 8 (1): 87
- Berríos, P., Fuentes, J.A., Salas, D., Carreño, A., Aldea, P., Fernandez, F., & Trombert, A.N. (2018). Efecto inhibitorio de las cepas de *Lactobacillus kunkeei* formadoras de biopelícula contra *Pseudomonas aeruginosa* virulenta in vitro y en modelo de infección por polilla del panal (*Galleria mellonella*). *Beneficio. Microbios*, (9): 257–268.
- Brady, T.S., Merrill, B.D., Hilton, J.A., Payne, A.M., Stephenson, M.B., & Hope, S. (2017). Bacteriophages as an alternative to conventional antibiotic use for the prevention or treatment of *Paenibacillus* larvae in honeybee hives. *J. Invertir. Pathol*, (150):94–100.

- Bulson, L., Becher, M.A., McKinley, T.J., & Wilfert, L. (2021). Long-term effects of antibiotic treatments on honeybee colony fitness: A modelling approach. *J Appl Ecol*, 58(1):70–9.
- Cabana, M., Tejerina, M., José, J., Castro, R., & Benítez Ahrendts, M.R. (2021). Potencial probiótico de bacterias aisladas de pan de polen para mejorar la producción y sanidad de *Apis mellifera*. *Idesia* (Arica), 39(1) 45-51.
- Cirat, R., Capozzi, V., Benmechernene, Z., Spano, G., Grieco, F., & Fragasso, M. (2024). LAB Antagonistic Activities and Their Significance in Food Biotechnology: Molecular Mechanisms, Food Targets, and Other Related Traits of Interest. *Fermentación*, 10 (4), 222
- Dengiz, B., Asesino, J., Havlík, J., Dobeš, P., & Hyršl, P. (2025). Selection of Probiotics for Honey Bees: The In Vitro Inhibition of *Paenibacillus larvae*, *Melissococcus plutonius*, and *Serratia marcescens* Strain Sicaria by Host-Specific Lactobacilli and Bifidobacteria. *Microorganismos*, 13 (5): 1159.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, L., González Tablada, M., & Robledo, C.W. (2011). Grupo INFOSTAT. FCA. Universidad Nacional de Córdoba.
- Erban, T., Ledvinka, O., Kamler, M., Nesvorna, M., Hortova, B., Tyl, J. & Hubert, J. (2017). Honeybee (*Apis mellifera*)-associated bacterial community affected by American foulbrood: Detection of *Paenibacillus larvae* via microbiome analysis. *Scientific Reports*, 7 (1), 5084.
- Fan, X., Gao, X., Zang, H., Liu, Z., Jing, X., Liu, X., Guo, R. (2024). Transcriptional dynamics and regulatory function of miRNAs in *Ascosphaera apis* invading *Apis mellifera* larvae. *Front Microbiol*, (8); 15: 1355035.
- Forsgren, E. & Laugen, A.T. (2014). Prognostic value of using bee and hive debris samples for the detection of American foulbrood disease in honey bee colonies. *Apidologie*, (45):10–20.
- Genersch, E. (2010). American foulbrood in honeybees and its causative agent, *Paenibacillus larvae*. *Journal of Invertebrate Pathology*, (103), S10–S19.
- Goulson, D., Nicholls, E., Botias, C., & Rotheray, E. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347.
- Iorizzo, M., Lombardi, S.J., Ganassi, S., Testa, B., Ianiro, M., Letizia, F., Cristofaro, A. (2020). Actividad antagonista contra *Ascosphaera apis* y propiedades funcionales de las cepas de *Lactobacillus Kunkei*. *Antibióticos*, 9 (5):262.
- Iorizzo, M., Testa, B., Ganassi, S., Lombardi, S.J., Ianiro, M., Letizia, F., Succi, M., Coppola, R. (2021) Propiedades probióticas y potencialidad de las cepas de *Lactiplantibacillus plantarum* para el control biológico de la enfermedad de la loque de tiza. *J. Hongos*, 7 (5):379.
- Janashia, I., Choiset, Y., Jozefiak, D., Déniel, F., Coton, E., Akbar, A., Haertlé, T. (2018). Beneficial Protective Role of Endogenous Lactic Acid Bacteria Against Mycotic Contamination of Honeybee Beebread. *Probiot. Antimicrobiano. Proteínas*, (10): 638–646.
- Krutmuang, P., Rajula, J., Pittarate, S., Chatima, C., Thungrabeab, M., Mekchay, S., & Senthil-Nathan, S. (2022). The inhibitory action of plant extracts on the mycelial growth of *Ascosphaera apis*, the causative agent of chalkbrood disease in Honey bee. *Toxicol. Representante*, 29 (9): 713–719.

- LeBlanc, J.G., Laiño, J.E., del Valle, M.J., Vannini, V., Van Sinderen, D., Taranto, M.P., Sesma, F. (2011). B-group vitamin production by lactic acid bacteria--current knowledge and potential applications. *J Appl Microbiol* (111): 1297–1309.
- Lei, J., Xin, C., Xiao, W., Chen, W., & Song, Z. (2021) La promesa de la riboflavina endógena y exógena en la antiinfección. *Virulencia*, 12(1):2314-2326.
- Li, Z., Hou, M., Qiu, Y., Zhao, B., Nie, H., & Su, S. (2020). Cambios en la actividad de las enzimas antioxidantes y los perfiles metabolómicos en los intestinos de las larvas de abeja melífera (*Apis mellifera*) infectadas con *Ascosphaera apis*. *Insectos*, 11 (7):419.
- Liu, L., Sadaghian Sadabad, M., Gabarrini, G., Lisotto, P., Von Martels, J.Z.H., Wardill, H.R., Harmsen, H.J.M. (2023). La suplementación con riboflavina favorece la producción de butirato en ausencia de cambios macroscópicos en la composición de la microbiota intestinal. *Señal de antióxido redox*, 38 (4-6):282-297.
- Mishra, S. & Acharya, S. (2021). A Brief Overview on Probiotics: The Health Friendly Microbes. *Biomed Pharmacol J* 14(4):1869-1880.
- Moliné, M.P., Aguirre, M.E., Domínguez, E., Moran Giardini, P., Fernández & Gende, L.B. (2024). Short communication: Ascorbyl/ascorbate ratio as a marker of oxidative stress in larvae (*Apis mellifera*) exposed to *Paenibacillus larvae*. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol*, 269: 110896.
- Motta, E.V.S & Moran, N.A. (2024). La microbiota de las abejas melíferas y su impacto en la salud y la enfermedad. *Nat Rev Microbiol*, 22(3):122-137.
- Nilsson, A., D'Alvise, P., Milbrath, M.O., & Forsgren, E. (2024). Lactic acid bacteria in Swedish honey bees during outbreaks of American foulbrood. *Ecol Evol*, 14(2):10964.
- Papa, G., Maier, R., Durazzo, A., Lucarini, M., Karabagias, I.K., Plutino, M., Laugen Negri, I. (2022). La abeja melífera *Apis mellifera*: Un insecto en la interfaz entre la salud humana y la del ecosistema. *Biología (Basilea)*, 11(2):233.
- Reis, N. A., Saraiva, M. A. F., Duarte, E. A. A., Carvalho, E. A., Vieira, B. B., & Evangelista-Barreto, N. S. (2016). Probiotic properties of lactic acid bacteria isolated from human milk. *Journal of Applied Microbiology*, 121(3):811–820
- Suwannasom, N., Kao, I., Pruß, A., Georgieva, R., & Bäumlér, H. (2020). Riboflavin: The Health Benefits of a Forgotten Natural Vitamin. *Int J Mol Sci*, 21(3):950.
- Takatori, K. and Tanaka, I. (1982). *Ascosphaera apis* isolated from chalkbrood in honey bees. *Japanese Journal of Zootechnical Science*, (2): 89-92.
- Thorakkattu, P., Khanashyam, A.C., Shah, K., Babu, K.S., Mundanat, A.S., Deliephan, A., & Nirmal, N.P. (2022). Postbióticos: Tendencias actuales en la industria alimentaria y farmacéutica. *Alimentos*, 11(19):3094.
- Truong, A.T., Kang, J.E., Yoo, M.S., Nguyen, T.T., Youn, S.Y., Yoon, S.S., & Cho, Y.S. (2023). Probiotic candidates for controlling *Paenibacillus larvae*, a causative agent of American foulbrood disease in honey bee. *BMC Microbiol*, 23(1):150.
- Tsourkas, P.K. (2020). *Paenibacillus larvae* bacteriophages: obscure past, promising future. *Genoma Microb*, 6(2): E000329.

- Yao, C., Chou, J., Wang, T., Zhao, H., & Zhang, B. (2018). Pantothenic Acid, Vitamin C, and Biotin Play Important Roles in the Growth of *Lactobacillus helveticus*. *Front. Microbiol*, 9:1194.
- Ye, M.H., Fan, S.H., Li, X. Y., Tarekul, I.M., Yan, C.X., Wei, W.H., & Zhou; B. (2021). Microbiota dysbiosis in honeybee (*Apis mellifera* L.) larvae infected with brood diseases and foraging bees exposed to agrochemicals. *R. Soc. Open Sci*, 8 (1): 201805.
- Zhang, K., Fu, Z., Ventilador, X., Wang, Z., Wang, S., Guo, S. & Gao, X. (2023). Effect of *Ascosphaera apis* Infestation on the Activities of Four Antioxidant Enzymes in Asian Honey Bee Larval Guts. *Antioxidantes*, 12 (1): 206.
- Zhang, W.W., Thakur, K., Zhang, J.G., & Wei, Z.J. (2024). Riboflavin ameliorates intestinal inflammation via immune modulation and alterations of gut microbiota homeostasis in DSS-colitis C57BL/6 mice. *Funct de Alimentos*, (15): 4109–4121.
- Zhu, Y.Y., Thakur, K., Feng, J.Y., Zhang, J.G, Hu, F., Céspedes-Acuña, C.L. & Nirmal, N.P. Wei, Z.J. (2022). Riboflavin Bioenriched Soymilk Alleviates Oxidative Stress Mediated Liver Injury, Intestinal Inflammation, and Gut Microbiota Modification in B₂ Depletion-Repletion Mice. *J Agric Food Chem*, (70): 3818–3831.

Agraria

TRABAJO

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES SÓLIDOS Y LÍQUIDOS (BOKASHI) EN EL CULTIVO DE AJO EN LA QUEBRADA DE HUMAHUACA

EFFECT OF THE APPLICATION OF SOLID AND LIQUID BIOFERTILIZERS (BOKASHI) ON GARLIC CULTIVATION IN THE QUEBRADA DE HUMAHUACA

Quiroga Martínez, J.^{1*}, Galian, D. F.¹, Royo, V.¹, Carrizo, C. B.¹, Ortega y Villasana, P.¹, Moreno, F. J.^{1,2}

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

²Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy (FCA – UNJu)

*Autor para correspondencia:

quirogam.julieta@inta.gob.ar

Período de Publicación:

Diciembre 2025

Historial:

Recibido: 30-10-25

Aceptado: 25-11-25

RESUMEN

El sistema productivo hortícola predominantemente convencional de la Quebrada de Humahuaca se caracteriza por un elevado uso de agroquímicos y un excesivo laboreo del suelo con impacto ambiental y alteración de la vida del suelo. Esta realidad plantea la necesidad de la aplicación de nuevos enfoques productivos para una transición hacia sistemas productivos sustentables como el agroecológico, el cual, entre diversas prácticas y manejos, promueve el uso de biopreparados como los biofertilizantes. El presente estudio analizó el impacto de la aplicación de bokashi sólido (T1) y líquido (T2 y T3) en el cultivo de ajo (*Allium sativum*) en la Quebrada de Humahuaca, en una parcela experimental del INTA IPAF NOA, bajo un diseño estadístico de bloques completamente aleatorizados contra un testigo sin fertilizar (T). Las variables medidas fueron altura de planta, peso y diámetro de bulbo. Los resultados demostraron que el bokashi sólido generó mejoras significativas tanto en el crecimiento vegetativo como en el diámetro y peso de los bulbos de ajo, superando a aquellos tratados con bokashi líquido y a las plantas testigo sin fertilización. Las fertilizaciones con bokashi líquido no lograron diferencias significativas contra el testigo, destacándose el tratamiento con menor dosis. La investigación resalta el valor del uso de biopreparados como el bokashi, los cuales, en combinación con diversas prácticas agroecológicas, son herramientas válidas para promover sistemas hortícolas sustentables y reducir la dependencia de insumos externos. También es necesario realizar nuevas investigaciones para ajustar las dosis y evaluar los efectos de aplicación combinada de biofertilizantes sólidos y líquidos no solo en las plantas sino también en el suelo.

Palabras clave: suelo vivo, fertilización orgánica, Agroecología

SUMMARY

The predominantly conventional horticultural production system in the Quebrada de Humahuaca is characterized by a high use of agrochemicals and excessive soil tillage, with environmental impacts and disruption of soil life. It is necessary to implement new productive approaches for a transition toward sustainable production systems, such as the agroecological model, which, among various practices and management methods, promotes the use of biopreparations such as biofertilizers. This study analyzed the impact of applying solid bokashi (T1) and liquid bokashi (T2 and T3) on garlic cultivation in the Quebrada de Humahuaca, in an experimental plot of INTA IPAF NOA, under a completely randomized block statistical design, using a non-fertilized control (T). The variables measured were plant height, bulb weight, and bulb diameter. The results showed that solid bokashi generated significant improvements in both vegetative growth and in the diameter and weight of garlic bulbs, outperforming those treated with liquid bokashi and unfertilized control plants. Liquid bokashi fertilizations did not result in significant differences compared to the control, with the lowest- dose treatment showing the best performance. The research highlights the value of using biopreparations like bokashi, which, in combination with various agroecological practices, are valid tools for promoting sustainable horticultural systems and reducing dependence on external inputs. Additional research is required to optimize application doses and evaluate the effects of combined application of solid and liquid biofertilizers not only on the plants but also on the soil.

Keywords: Agroecology, living soil, organic fertilization

INTRODUCCIÓN

La Quebrada de Humahuaca, perteneciente a la provincia de Jujuy, paso de ser una zona productiva con predominancia de frutales, trigo y cultivos andinos a desarrollarse en una cuenca hortícola con relevancia para la provincia y el Noroeste Argentino (NOA), ubicándose principalmente a los costados de la Ruta Nacional N°9 (De Pascuale Bovi, 2016). Los productos que se obtiene son contra estación con la zona del ramal jujeño, lo que hace que sean buscados por intermediarios para su reventa en el mercado interno, como en provincias vecinas. Entre las hortalizas producidas se pueden nombrar a la espinaca, lechuga, tomate, ajo, acelga, entre otros (Moreno, 2024).

Esta región de Jujuy, a pesar de estar ubicada en el norte de Argentina, debido a su orografía y altitud, presenta características agroecológicas que permiten realizar el cultivo de ajo cumpliendo con los requerimientos de frío necesarios para la bulbificación (Moreno, 2024). *Allium sativum*, especie originaria de Asia (Pérez Moreno, 2010), es producida hace más de 5000 años como alimento, condimento y medicina (Al-Gehani & Kanbar, 2013). En Jujuy es uno de los cultivos más utilizados con fines medicinales (Acosta, 2018), y muy difundido para la elaboración de repelentes de plagas (Chauque, 2015; Genorazzo *et al.*, 2018, Segade *et al.*, 2022). Actualmente hay doce cultivares evaluados con excelente adaptación a la Quebrada de Humahuaca, a través de la Red Nacional de Difusión de Cultivares de Ajo (RENDICA), perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (Salas, 2021).

La planta de ajo es considerada como una “mal competidora” de recursos como agua, nutrientes y radiación solar, contra las plantas espontaneas (Ávila *et al.*, 2019; Boetto & Ávila, 2013; Moreno, 2024).

Esto se debe principalmente a su lento crecimiento en sus estadios iniciales, el cual, junto a su escaso desarrollo foliar no le permiten dominar los espacios (Moreno, 2024). Por lo tanto, para lograr un óptimo desarrollo de la planta de ajo que permita obtener buenos rendimientos de bulbos (en peso y diámetro), es fundamental el control de plantas espontáneas (Burba, 2022), estimular un rápido crecimiento vegetativo del cultivo y prevenir enfermedades de hoja.

El sistema de producción hortícola en la Quebrada de Humahuaca, ubicado en la orilla del Río Grande, es predominantemente convencional con un alto uso de insumos extraprediales y un excesivo laboreo del suelo (Vargas & San Martín, 2016). En este tipo de agricultura el uso de aplicaciones de químicos industriales, como fertilizantes, insecticidas, fungicidas y herbicidas, son una herramienta clave para estimular el crecimiento del ajo, disminuir la propagación de enfermedades y la competencia con malezas (Ávila *et al.*, 2023). Las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados son muy comunes durante el ciclo del cultivo para lograr la máxima cosecha y calidad posible (Gaviola & Lipinski, 2002; Lipinski, 2015). Este enfoque productivo genera impacto ambiental por el uso de los agroquímicos, disminución de la actividad biológica, dependencia de las agroquímicas y altos costos, que lo convierte en una tecnología que no está al alcance de todos los productores familiares (Moreno, 2024).

Una alternativa de la agricultura convencional es el enfoque agroecológico, el cual considera al predio productivo como un sistema complejo buscando que sea económicamente viable, socialmente justo, ecológicamente sustentable y con menor dependencia de insumos externos (Sarandón, 2020). Para lograr esto, la agroecología se basa en pilares fundamentales, entre ellos el aumento de la biodiversidad y la salud del suelo (Sarandón, 2002), siendo una herramienta importante, principalmente para predios que están empezando una transición agroecológica, la incorporación de bioinsumos y biopreparados como reemplazo de los agroquímicos, para controlar plagas, enfermedades y fertilizar el suelo (Altieri & Nicholls, 2007).

Dentro de los biopreparados encontramos los biofertilizantes, de los cuales el más difundido por su rápido proceso de elaboración, su aporte de microorganismos y nutrientes al suelo y a las plantas, es el bokashi (Ávila *et al.*, 2023). Este abono orgánico, de origen japonés, se elabora con materiales orgánicos a través de una fermentación aeróbica biológica, donde la fuente de energía (melaza o azúcar), acelera la actividad de los microorganismos oxidando la materia orgánica, liberando calor, dióxido de carbono y agua, logrando el producto final entre 12 a 21 días (Álvarez-Solís *et al.*, 2016; Ávila *et al.*, 2023; FAO, 2007; González-Rodríguez *et al.*, 2023). El bokashi mejora tanto la fertilidad de los suelos como el crecimiento de los cultivos por su aporte de materia orgánica, microorganismos y metabolitos sintetizados por estos, como fitohormonas y reguladores de crecimiento (Yamada & Xu, 2000).

El efecto de este abono en cultivos comerciales y en la salud del suelo se puede observar en distintas publicaciones, como la de Ordoñez *et al.* (2019), Lassevich *et al.* (2020), Pandit *et al.* (2020), Daiss *et al.* (2008), Peralta-Antonio *et al.* (2019), Álvarez-Solís *et al.* (2016), Panazzolo *et al.* (2024) y Pezzoto de Lima *et al.* (2022). En Argentina la bibliografía disponible acerca de su uso en el cultivo de ajo es muy limitada, encontrándose información para la zona de Córdoba que solo analiza variables de rendimiento (Ávila *et al.*, 2023), pero no para la provincia de Jujuy. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de bokashi sólido y líquido en el cultivo de ajo en la Quebrada de Humahuaca, analizando las variables de altura de planta, peso y diámetro de bulbo, bajo condiciones de manejo agroecológico y en comparación con un testigo sin fertilización.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se desarrolló en el Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Agricultura Familiar (INTA IPAF NOA), localizado en el departamento de Tilcara sobre Ruta Nacional 9 km 1763, a una altitud de 2390 m.s.n.m., en la provincia de Jujuy (37° 69'16" L.S y 65° 25'45" L.O). La precipitación media anual es de 121 mm, concentrada de noviembre a marzo. La temperatura media anual es de 13,8°C,

siendo la media del mes más cálido 22,5°C y la del mes más frío 2,9°C, con un periodo libre de heladas que va desde el mes de octubre al mes de abril. Los suelos son de color pardo oscuro, con un perfil AC, nivel freático alto, bajo porcentaje de materia orgánica, a veces menor al 1%, y moderadamente alcalinos (Moreno, 2024).

El INTA IPAF NOA cuenta con un campo experimental, en el cual se encuentra una parcela con manejo sustentable donde se llevó adelante este ensayo. La misma posee siete años de manejo agroecológico, en el cual los cultivos son parte de un sistema complejo y dinámico donde existe entrada y salida de insumos y productos que varían en el tiempo. En este espacio se trabaja la reducción de labranzas, la promoción de un suelo vivo con el aporte de microorganismos, materia orgánica con diversos biopreparados y el aumento de la agrobiodiversidad en el tiempo y espacio (rotación y diversificación de cultivos), junto con la incorporación de franjas florales que actúan como corredores biológicos (Figura 1).



Figura 1: Aplicación de bokashi sólido en la parcela de ajo (T1) localizada entre cultivos de cobertura de trigo y cebada.

El material experimental fueron cabezas de ajo perteneciente al tipo comercial: Blanco temprano (cv sin identificar), según clasificación de Burba (2022), provistas por un productor de la zona. Los bulbos fueron separados y seleccionados por el personal de INTA una semana previa a la plantación. El suelo se preparó con dos pasadas de arado de disco, rastra y surcador. La plantación se realizó el 12 de abril de 2024, con distancia entre líneas de 70 cm, mientras que la distancia entre plantas fue de 10 cm (densidad de plantación 142.000 plantas ha⁻¹). La superficie total del ensayo fue de 134,4 m² (48 m x 2,8 m), con un diseño experimental de DBCA (Diseño en bloques completos al azar), con tres repeticiones de cada tratamiento, teniendo cada bloque una superficie de 11.2 m² (2.8 m x 4 m) ocupando 4 líneas de plantación, pero evaluándose únicamente las dos centrales y considerando 0,5 m de bordura entre los tratamientos. El riego fue gravitacional por surco cada 15 días aproximadamente.

El bokashi se preparó en forma colectiva junto a beneficiarios del programa “Acciones de entrenamiento para el trabajo”, productores locales y personal del INTA (Figura 2). Los materiales utilizados fueron: estiércol caprino fresco, tierra de monte, alfalfa, carbón molido, ceniza, azúcar, leche, levadura, maíz partido y agua. Aproximadamente después de quince días se obtuvo bokashi sólido, el cual fue embolsado y reservado para este ensayo (Tabla 1). Además, se preparó te de bokashi, un biofertilizante foliar concentrado, obtenido a partir del reposo de 1 kg de bokashi sólido en 10 L de agua durante siete días. En este trabajo se aplicaron cuatro tratamientos de fertilización: bokashi sólido 20 gr planta⁻¹ (9.5 tn

ha⁻¹) (T1), bokashi líquido al 5 % (T2), bokashi líquido al 10 % (T3) y agua como testigo (T), aplicados a los 100, 125 y 150 días después de plantación (DDP). La aplicación del abono sólido se realizó directamente al suelo y fue incorporado con el cultivador, mientras que el líquido se aplicó mediante una mochila pulverizadora sobre las plantas de ajo.



Figura 2: Elaboración participativa de abono orgánico bokashi.

Tabla 1: Análisis de laboratorio del bokashi sólido.

Bokashi - 2025

Parámetros	Valores
pH	9,8
CE dS/m	9,15
Humedad %	25,77
Densidad (g/cm ³)	0,41
Materia orgánica %	21,2
Carbono orgánico %	12,3
Nitrógeno total (NT) %	0,85
Relación C/N	14
Fosforo (P) mg/kg	50
Calcio (Ca) mg/kg	32000
Magnesio (Mg) mg/kg	139487
Sodio (Na) mg/kg	680
Potasio (K) mg/kg	15478

El desmalezado se realizó en tres ocasiones con una pasada del cultivador entre líneas del cultivo, escardillado manual entre plantas y un surcador al final (Figura 3A). Además, durante el ciclo del cultivo, se observaron ataques de arañuela roja y trips, para lo cual se aplicó en dos oportunidades caldo sulfocálcico y extracto de ajo al 5 % utilizando una mochila pulverizadora.

La cosecha se realizó el 14 de noviembre de 2024, de manera manual, para luego colocar las plantas de ajo en secadores verticales (Figura 3B). Luego de un mes de secado natural se acondicionaron los bulbos para realizar las mediciones de peso y diámetro.



Figuras 3A: Control mecánico de malezas y aporque; **3B:** Secadores verticales de ajo con media sombra y ventilación natural.

Las mediciones se realizaron en las dos líneas centrales de cada parcela experimental, fueron las siguientes:

- **Altura de planta:** se determinó midiendo la distancia desde el suelo hasta el extremo de la hoja más larga en diez plantas elegidas al azar del área de evaluación de la parcela a los 160, 180 y 210 días después de plantación (DPP).
- **Peso y diámetro de bulbo:** luego de la cosecha y del tiempo de secado natural del bulbo (30 días), se determinó el peso y diámetro de 10 bulbos elegidos al azar del área de evaluación de la parcela.

Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) de modelo mixto aplicado sobre la variable, con prueba de contrastes de Tukey ($P < 0.05$). El análisis estadístico se realizó con en R. Studio e InfoStat 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El crecimiento de las plantas de ajo se vio afectado de manera significativa por los tratamientos (P -valor < 0.05). Las plantas fertilizadas con bokashi solido (T1) fueron las de mayor altura a lo largo del periodo evaluado (52.23, 69.30, 69.33 cm), con diferencias significativas frente a T y T3 (Tabla 2). Entre los tratamientos de bokashi liquido no hubo diferencias significativas entre ellos, y el T2 fue el único que logro plantas significativamente más altas que el testigo (T). Las plantas de menor altura se registraron en el testigo (T).

Tabla 2: Altura media de las pantas de ajo a los 160, 180 y 210 DDP.

Tratamiento	Altura (cm)		
	160 DDP	180 DDP	210 DDP
T	49.17 a	63.83 a	65.53 a
T1	52.23 b	69.30 b	69.33 b
T2	49.67 bc	67.50 bc	68.13 bc
T3	50.80 ac	66.63 ac	66.53 ac
CV	6.38	4.49	4.15

CV: coeficiente de variabilidad. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($\alpha=0,05$), test Tukey.

La fertilización con bokashi sólido tiene amplios beneficios para los cultivos, como favorecer su crecimiento gracias al aporte de diversos macros y micros nutrientes, como así también compuestos orgánicos (Álvarez-Solís *et al.*, 2010). Si bien la composición de este abono orgánico puede variar según los materiales con los que fue elaborado, por lo general se caracteriza por contener elevadas cantidades de nitrógeno en forma orgánica disponible para las plantas (Álvarez-Solís *et al.*, 2016, Tabla 1). A diferencia de los biofertilizantes líquidos, el bokashi sólido aporta materia orgánica que mejora las propiedades físicas del suelo, especialmente la estructura, facilitando la absorción de agua y nutrientes a las plantas (Ansar *et al.*, 2021; González-Rodríguez *et al.*, 2023). Además, provee una elevada cantidad y actividad de microorganismos que mineralizan la materia orgánica (González-Rodríguez *et al.*, 2023), incrementando la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Pérez-Godínez *et al.*, 2017) y generando al mismo tiempo, metabolitos como fitohormonas y reguladores del crecimiento estimulando el crecimiento y desarrollo de las plantas (Yamada & Xu, 2000). Estos resultados concuerdan, por un lado, con los obtenidos por Álvarez-Solís *et al.*, (2016), Ansar *et al.*, (2021) en el cultivo de cebolla y con los trabajos de Hata *et al.*, (2023) y Muthu *et al.*, (2023) para el cultivo de lechuga, quedando demostrado el efecto positivo del bokashi en el crecimiento de los cultivos.

El peso y diámetro de los bulbos obtenidos de las plantas de ajo mostraron diferencias significativas entre los tratamientos (P -valor <0.05). Los tratamientos de bokashi sólido y líquido presentaron valores mayores contra el testigo, pero el T1 fue el único que se diferenció significativamente (Tabla 3). Los máximos valores corresponden al tratamiento de bokashi sólido (T1) con 52.3 gr y 5.4 cm respectivamente, y los mínimos al testigo sin fertilizar (42.8 gr y 5 cm). En cuanto a los T2 y T3, la dosis más baja fue la que dio mejores resultados.

Tabla 3: Valores medios de peso y diámetro de bulbos de los distintos tratamientos.

Tratamiento	Peso (gr)	Diámetro (cm)
T	42.8 a	5 a
T1	52.3 b	5.4 b
T2	48.4 ab	5.3 ab
T3	46.4 ab	5.2 ab
CV	22.7	9.4

CV: coeficiente de variabilidad. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($\alpha=0,05$), test Tukey.

Se observó una correlación positiva muy fuerte ($r=0,92$) entre peso y diámetro de bulbos, lo cual permite analizar ambas variables en conjunto. Este hallazgo es consistente con los resultados de Moreno (2024), Al-Gehani y Kanbar (2013) y Pérez Moreno *et al.*, (2010), quienes reportaron relaciones similares en diferentes condiciones de cultivo. El aumento de producción y calidad de bulbos de ajo por fertilización a base bokashi sólido también fue descripto por Ávila *et al.*, (2023) en la provincia de Córdoba y por Álvarez-Solís *et al.*, (2016) y Ansar *et al.*, (2021) para el cultivo de cebolla. Los biofertilizantes como el bokashi mejoran y estabilizan condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo permitiendo la reconstitución y el aumento de su contenido de materia orgánica (Ávila *et al.*, 2023; Lassevich *et al.*, 2020). Este elevado aporte de materia orgánica disminuye la temperatura del suelo, la evapotranspiración y aumenta el contenido de humedad disponible para las raíces reduciendo el estrés hídrico y térmico (Peralta-Antonio *et al.*, 2019). Particularmente el cultivo de ajo se ve favorecido por las bajas temperaturas porque estimulan el crecimiento de las raíces proporcionando mayor capacidad para absorber agua y nutrientes (Moreno, 2024). Este conjunto de beneficios podría explicar porque tanto el crecimiento como el aumento de las variables productivas de las plantas de ajo fertilizadas con bokashi sólido dieron diferencias significativas contra el testigo y no así las plantas fertilizadas con bokashi líquido. Por otro lado, los fertilizantes líquidos a base de bokashi pueden contener cantidades elevadas de nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Su elevada concentración, junto con su bajo pH (Muthu *et al.*, 2023), pueden tener un impacto negativo al aumentar en exceso la cantidad de nutrientes disponibles para las raíces y las hojas, lo que puede alterar el equilibrio de nutrientes absorbidos inhibiendo el crecimiento y desarrollo de las plantas (Ansar *et al.*, 2021). Esto podría explicar porque el T2 con una dosis menor, dio mejores resultados que el T3.

CONCLUSIONES

La aplicación de bokashi sólido en el cultivo de ajo en la Quebrada de Humahuaca mostró mejoras significativas en el crecimiento vegetativo y en las variables de peso y diámetro de los bulbos, en comparación con los tratamientos con bokashi líquido y el testigo sin fertilización. Estos resultados sugieren que el bokashi sólido, por su aporte de materia orgánica, nutrientes y microorganismos, favorece la estructura y fertilidad del suelo, lo que se traduce en un mejor desarrollo de las plantas.

Sin embargo, es importante destacar que el número de bulbos analizados fue limitado, por lo que no es posible afirmar con certeza que hubo un buen rendimiento global. Además, no se realizó un análisis de suelo que permita concluir de manera directa sobre el aporte real de materia orgánica, nutrientes y microorganismos en la parcela estudiada.

Por lo tanto, se recomienda que futuras investigaciones amplíen el tamaño de muestra y se realicen análisis complementarios de suelo para validar estos resultados. Asimismo, sería relevante evaluar el impacto de la aplicación combinada de biofertilizantes sólidos y líquidos, y ajustar las dosis para optimizar el rendimiento y la calidad del cultivo de ajo en sistemas agroecológicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, M. E. (2018). Etnobotánica de comunidades inmigrantes bolivianas de la provincia de Jujuy, Argentina: estudio del cambio y la flexibilidad [Tesis de Doctorado en Biología, Universidad Nacional del Comahue]. <http://hdl.handle.net/11336/80366>
- Al-Gehani, A. M., & Kanbar, A. (2013). Multivariate statistical analysis of bulb yield and morphological characters in garlic (*Allium sativum* L.). *International Journal of Agricultural and Food Research*, 2(3), 18–27. <https://doi.org/10.24102/ijafr.v2i3.314>
- Álvarez-Solís, J. D., Mendoza-Núñez, J. A., León-Martínez, N. S., Castellanos-Albores, J., & Gutiérrez-Miceli, F. A. (2016). Effect of bokashi and vermicompost leachate on yield and quality of pepper (*Capsicum*

- annuum) and onion (*Allium cepa*) under monoculture and intercropping cultures. *Ciencia e Investigación Agraria*, 43(2), 243–252. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202016000200007>
- Álvarez-Solís, J. D., Gómez-Velasco, D. A., León-Martínez, N. S., & Gutiérrez-Miceli, F. A. (2010). Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia*, 44(5), 575–586.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2007). Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *Ecosistemas*, 16(1), 3–12.
- Ansar, M., Bahrudin, B., Fathurrahman, F., Darman, S., Thaha, A. R., Angka, A. W., & Rahmadanih, R. (2021). Application of bokashi goat manure and organic liquid fertilizer to improve the growth and yield of Lembah Palu shallot variety. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 681(1), 012047. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/681/1/012047>
- Ávila, G. T., Boetto, M. N., Menduni, M. F., & Beccaria, V. (2023). Efecto de bokashi y supermagro sobre el rendimiento del cultivo agroecológico de ajo. *Horticultura Argentina*, 42(108), 46–58. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/ky38jt1a3>
- Ávila, G. T., Boetto, M. N., Álvarez, C., Rampone, G., Beccaria, V., & Donadio, N. (2019). Intercultivo ajo-trigo: efectos sobre la comunidad de malezas. *Libro resumen del Primer Congreso Argentino de Agroecología*, 483–486. <http://hdl.handle.net/11086/549209>
- Boetto, M. N., & Ávila, G. T. (2013). Manejo agroecológico de malezas en cultivos de ajo (*Allium sativum* L.). *Nexo Agropecuario*, 1, 7–8.
- Burba, J. L. (2022). Producción de ajo. *Ediciones INTA*. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/13041>
- Chauque, J. G. (2015). Proceso organizativo de quinueros de la agricultura familiar, con enfoque de Desarrollo Sustentable en la puna jujeña. *Agrupación Tika Quinoa. Memorias del V Congreso Latinoamericano de Agroecología – SOCLA*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/55432>
- Daiss, N., Lobo, M. G., Socorro, A. R., Brückner, U., Heller, J., & Gonzalez, M. (2008). The effect of three organic pre-harvest treatments on Swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. *cycla* L.) quality. *European Food Research and Technology*, 226, 345–353. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0543-2>
- De Pascuale Bovi, J. A. (2016). Eficiencia y prácticas productivas en agricultura familiar: El caso de los pequeños productores hortícolas de Maimará, Tilcara, Jujuy-Argentina [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Litoral]. https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/UNLBT_d535154ff00c07c5c381c52543eec8b1
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2020). InfoStat. *Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*. <http://www.infostat.com.ar>
- FAO & CENTA. (2007). Elaboración y uso del bocashi. *Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA)*. San Salvador, El Salvador.
- Genorazzo, A. P., Alvarez, S. E., & Buono, H. S. (2018). Parcelas agroecológicas: una oportunidad para el desarrollo de nuevas capacidades en productores y técnicos. *Anais do VI Congresso Latinoamericano de Agroecologia; X Congresso Brasileiro de Agroecologia; V Seminário de Agroecologia do Distrito Federal e Entorno*, 13(1). <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/1136/1186>

- Gaviola, S., & Lipinski, V. M. (2002). Diagnóstico rápido de nitrato en ajo cv. fuego INTA con riego por goteo. *Ciencia del suelo*, 20(1), 43-49.
- González-Rodríguez, G., Preciado-Rangel, P., Lizárraga-Bernal, C. G., & Espinosa-Palomeque, B. (2023). Análisis bibliométrico de la literatura científica sobre el abono orgánico Bokashi: alternativa en la agricultura sostenible. *Biotecnia*, 25(2), 1848. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i2.1848>
- Hata, F. T., da Silva, D. C., Yassunaka-Hata, N. N., de Queiroz Cancian, M. A., Sanches, I. A., Poças, C. E. P., Ventura, M. U., Spinosa, W. A., & Macedo, R. B. (2023). Leafy vegetables' agronomic variables, nitrate, and bioactive compounds have different responses to bokashi, mineral fertilization, and boiled chicken manure. *Horticulturae*, 9(2), 194. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020194>
- Lassevich, D. D., Bajsa, N., & Platero, R. (2020). Caracterización microbiológica y evaluación del efecto sobre el suelo de tres biopreparados: bokashi, supermagro y microorganismos eficientes nativos. *Cadernos de Agroecologia*, 15(2). <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/4108>
- Lipinski, V. M. (2015). Manejo del riego y la fertilización en cultivos de ajo. *Estación Experimental Agropecuaria La Consulta*, INTA. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/3111>
- Moreno, F. J. (2024). Manejo agroecológico de plantas espontáneas durante el desarrollo vegetativo del cultivo de ajo (*Allium sativum* L.) [Tesis de especialización, Universidad de Buenos Aires]. <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/especializacion/2024morenofacundojavier.pdf>
- Muthu, H. D., Izhar, T. N. T., Zakarya, I. A., Saad, F. N. M., & Ngaa, M. H. (2023). Comparative study between organic liquid fertilizer and commercial liquid fertilizer and their growth performances on mustard greens. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1135(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1135/1/012002>
- Ordoñez, J. A. Z., Garzón, G. E., Locati, L., & Pietrarelli, L. T. (2019). Evaluación del bioabono sólido (bokashi) en la producción agroecológica de lechuga (*Lactuca sativa*). *Libro resumen del Primer Congreso Argentino de Agroecología*, 144-147.
- Panazzolo, M. R., Silvestre, W. P., Rupp, L. C. D., Venturin, L., & Sartori, V. C. (2024). Manejo de solo e fitossanitário orgânico na produtividade de cebola na Serra Gaúcha, Sul do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, 30(1), 48-60. <https://doi.org/10.36812/pag.202430148-60>
- Pandit, N. R., Schmidt, H. P., Mulder, J., Hale, S. E., Husson, O., & Cornelissen, G. (2020). Nutrient effect of various composting methods with and without biochar on soil fertility and maize growth. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(2), 250-265. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1610168>
- Peralta-Antonio, N., de Freitas, G. B., Watthier, M., & Silva Santos, R. H. (2019). Compost, bokashi y microorganismos eficientes: sus beneficios en cultivos sucesivos de brócolis. *Idesia*, 37(2), 55-63. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000200059>
- Pérez Moreno, L., Navarro León, M. J., Mendoza Celedón, B., & Ramírez Malagón, R. (2010). Evaluación de rendimiento de compuestos de ajo tipo Taiwán. *Acta Universitaria*, 20(4), 63-69. <https://doi.org/10.15174/au.2010.59>
- Pezzoto de Lima, D., de Freitas Fregonezi, G. A., Hata, F. T., Ventura, M. U., Vilela de Resende, J. T., da Silva Wanderley, C., & Figueiredo, A. (2022). Use of reduced Bokashi doses is similar to NPK fertilization in iceberg lettuce production. *Agronomía Colombiana*, 40(2), 293-302. <https://doi.org/10.15446/agron>

[colomb.v40n2.102900](#)

- Pérez-Godínez, E. A., Lagunes-Zarate, J., Corona-Hernández, J., & Barajas-Aceves, M. (2017). Growth and reproductive potential of *Eisenia foetida* (Sav) on various zoo animal dungs after two methods of pre-composting followed by vermicomposting. *Waste Management*, 64, 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.036>
- Salas, J. L. (2021). Extensión Rural en Sistemas Productivos Hortícolas de Agricultura Familiar. Procesos de Co-innovación con énfasis en la evaluación de cultivares de ajo [Trabajo final de ingeniería agronómica no publicado].
- Sarandón, S. J. (2020). Biodiversidad, agroecología y agricultura sustentable. *Editorial de la Universidad de La Plata (EDULP)*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/109141>
- Sarandón, S. J. (2002). Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable. *Ediciones Científicas Americanas*.
- Segade, G., Lopez Serrano, F. A., Angel, A. N., Paggi, Y., & Celie, R. (2022). Evaluación en condiciones de campo de una formulación en base a extracto de ajo (*Allium sativum*) para el control del gusano del brote del duraznero, *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae). *IX Encuentro Latinoamericano Prunus Sin Fronteras*. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/13330>
- Vargas, C. E., & San Martín, S. M. (2016). Agroecología vs agricultura convencional en la Quebrada de Humahuaca. *Actas Científicas de la 77ª Semana de la Geografía*, 253-266. http://gaea.org.ar/ACTAS/VARGAS_Corina_SAN_MARTIN_Silvina.pdf
- Yamada, K., & Xu, H.-L. (2000). Properties and applications of an organic fertilizer inoculated with effective microorganisms. *Journal of Crop Production*, 3(1), 255–268. https://doi.org/10.1300/J144v03n01_21

Agraria

CLUSTERIZACIÓN DE BARRIOS EN EL AGLOMERADO JUJUY - PALPALÁ POR VARIABILIDAD DE PRECIOS MINORISTAS DE FRUTAS Y VERDURAS

NEIGHBORHOOD CLUSTERING IN THE JUJUY - PALPALÁ AGGLOMERATION BASED ON VARIABILITY IN RETAIL PRICES OF FRUITS AND VEGETABLES

Solís, J. M.^{1*}, Carrasco, S. C.¹, Leaño, M. C.¹, Martínez, F. N.², Chaile, V. A.², Quespía Mamani, M. A.², Tolay Toconás, E. A.², Rosales, Y. B.², Chávez, J. L.² y Yarbe, G. I.²

¹ Cátedra de Bioestadística y Diseño Experimental

² Estudiantes avanzados de la carrera Ingeniería Agronómica de la FCA UNJu

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

Período de Publicación:
Diciembre 2025

Historial:
Recibido: 02-10-25
Aceptado: 25-11-25

RESUMEN

En este trabajo se analiza la estructura espacial de la variabilidad de los precios minoristas de hortalizas y frutas para consumo en el aglomerado San Salvador de Jujuy-Palpalá. Se parte del supuesto de que, en mercados atomizados e informales como el hortícola, la dispersión de precios es reflejo de asimetrías de información y condiciones locales heterogéneas. A partir de datos relevados en distintos puntos de venta, se realizó un análisis de Procrustes Generalizado (GPA), se construyeron Modelos de Efectos Aleatorios y de conglomerados jerárquicos, y se aplicaron técnicas de autocorrelación espacial (Moran Global y Local). Los resultados indican que el factor *barrio* explica en promedio un 15 % de la variabilidad total, mientras que el *tipo de comercio* explica menos del 2 %. El análisis multivariado reveló la existencia de dos agrupamientos territoriales diferenciados, uno concentrado en los barrios del norte y otro en la zona sur del aglomerado. La significancia estadística de estos patrones fue confirmada mediante el índice de Moran Global ($I = 0,53$, $p = 0,003$), y complementada con la identificación de clústeres locales mediante la prueba LISA. Los hallazgos respaldan la hipótesis de una estructura espacial no aleatoria de precios, lo que sugiere la necesidad de incorporar herramientas analíticas espaciales en los estudios de mercados minoristas. Este enfoque ofrece una base para el diseño de políticas que busquen mejorar el acceso equitativo a alimentos en contextos urbanos complejos.

Palabras clave: análisis de conglomerados jerárquicos, autocorrelación espacial, variabilidad espacial

SUMMARY

This study analyzes the spatial structure of price variability for retail fruits and vegetables in the San Salvador de Jujuy-Palpalá urban agglomeration.

It assumes that, in an atomized and informal markets such as the horticultural sector, price dispersion reflects information asymmetries and heterogeneous local conditions. Using data collected from various retail outlets, a Generalized Procrustes Analysis (GPA) was conducted, along with the construction of Random Effects Models and hierarchical clustering, and the application of spatial autocorrelation techniques (Global and Local Moran's I). The results show that the *neighbourhood* factor accounts for an average of 15% of total variability, whereas the type of *retail outlet* explains less than 2%. Multivariate analysis revealed the existence of two distinct territorial clusters—one concentrated in the northern neighbourhoods and the other in the southern part of the metropolitan area. The statistical significance of these spatial patterns was confirmed through the Global Moran's I index ($I = 0.53$, $p = 0.003$), and further supported by the identification of local clusters using the LISA test. The findings support the hypothesis of a non-random spatial structure of prices, highlighting the relevance of incorporating spatial analytical tools in retail markets study. This approach provides a foundation for policy design aimed at improving equitable access to food in complex urban settings.

Keywords: hierarchical cluster analysis, spatial autocorrelation, spatial variability

INTRODUCCIÓN

Los precios constituyen uno de los principales indicadores de funcionamiento de un mercado o una economía (Market Information Organization of the Americas, Washington, D. C. (United States of America) & Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2016). Las oscilaciones de los precios de los productos básicos agrícolas son indicadores de cambios en su oferta y demanda. Contar con información transparente y oportuna sobre los mercados es fundamental para la adopción de decisiones basadas en datos objetivos y para adoptar estrategias de seguridad alimentaria, la cual implica cuatro dimensiones: a) disponibilidad física de los alimentos, b) acceso económico y físico, c) empleo de los alimentos y c) estabilidad en el tiempo de las tres anteriores (FAO, 2023).

El sector hortícola de la provincia de Jujuy se caracteriza por una atomización de productores enmarcados en gran parte en la figura de agricultura familiar. Sumado a ello, la tenencia de la tierra corresponde en gran parte a agricultores arrendatarios, medieros o en sociedad con el propietario de la tierra. Según el Censo Nacional Agropecuario 2018 (CNA18), la superficie de parcelas productivas correspondiente a tierras en arrendamiento representa un 19% y un 3% a nivel país y provincial respectivamente, mientras que este porcentaje asciende a un 28% en el departamento de El Carmen, donde se concentra la mayor cantidad de producción y mercados de frescos de la provincia (INDEC, 2021). Estas figuras socio – productivas favorecen la existencia de un alto grado de informalidad en los productores y de sus trabajadores (Martínez et al., 2010; MAGYP, 2022), con escasa o nula información acerca de los costos de producción y de toda la cadena de comercialización. Por lo tanto, la formación de precios mayoristas y minoristas toma características oligopólicas, donde la presencia de intermediarios en la cadena de valor de las hortalizas juega un rol destacado.

Una de las causas de la dispersión de precios es la existencia de información imperfecta (Stigler, 1961; Stahl, 1996; Sorensen, 2000; Vicentin Masaro & Chara, 2020), y puede distinguirse entre una dispersión

de precios espacial y una temporal (Varian, 1981). La primera ocurre cuando las firmas¹ fijan precios en distintos momentos del tiempo, pero la posición de la firma en la distribución de precios general no cambia (se mantiene en la misma posición en el ranking de precios bajos/altos); en cambio, la segunda se observa cuando una misma firma ofrece precios de manera impredecible en el tiempo, variando el lugar en el ranking (Vicentin Masaro & Chara, 2020). Diversas publicaciones han explorado diferentes enfoques para analizar dispersión de precios minoristas en alimentos con datos georreferenciados (Perez, 2010; Vicentin Masaro & Chara, 2020; Masaro *et al.*, 2020) , pero no se han encontrado trabajos que describan la variabilidad de precios minoristas en mercados de frutas y verduras para consumo en fresco, al menos en la región NOA y particularmente la provincia de Jujuy.

Ante la escasez de información sobre el comportamiento de los precios en el eslabón minorista de la cadena de comercialización de frutas y hortalizas en el aglomerado Jujuy - Palpalá, y considerando que este análisis constituye un punto de partida ineludible para la caracterización de otros eslabones, este trabajo plantea los siguientes objetivos:

- Estimar la contribución relativa de los factores Barrio y Tipo de comercio sobre la variabilidad observada en la formación de precios minoristas de una canasta seleccionada de frutas y verduras, en el Aglomerado Gran Jujuy.
- Identificar y delimitar conglomerados o *clústeres* espaciales de barrios que presenten una distribución homogénea en sus precios relativos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un relevamiento mensual de los precios minoristas de los siguientes productos hortícolas y frutícolas destinados al consumo en fresco (en adelante, “productos”): papa *Solanum tuberosum* (kg), banana no importada grande *Musa paradisiaca* (docena), cebolla grande *Allium cepa* (kg), lechuga tipo crespa *Lactuca sativa* var. *crispa* (kg), naranja dulce para jugo *Citrus sinensis* (docena), manzana deliciosa *Malus domestica* (kg) y tomate perita grande *Solanum lycopersicum* (kg).

Se realizaron siete relevamientos de precios en los meses de julio, agosto, octubre y noviembre de 2023, y en marzo, abril y mayo de 2024, utilizando el método de encuesta directa. Los barrios relevados fueron los siguientes (Tabla 1):

Tabla 1: Barrios relevados durante el proyecto

Id	Barrio	Distrito	Id	Barrio	Distrito
1	Alto Comedero (A.C.)	Alto Comedero	10	Malvinas Argentinas (M.A.)	Este
2	Dr. Marcelino Vargas (D.M.V.)	Norte	11	Los Huaicos (L.H.)	Oeste
3	Ciudad de Nieva (C.D.N.)	Oeste	12	Bajo la Viña (B.L.V.)	Norte
4	Coronel Arias (C.A.)	Sur	13	Almirante Brown (A.B.)	Este
5	Los Perales (L.P.)	Norte	14	Alto Gorriti (A.G.)	Sur
6	Chijra (Ch.)	Norte	15	Cuyaya (Cu.)	Sur

¹ Nota: en este trabajo se referirá a *puntos de venta* en lugar de firmas.

Id	Barrio	Distrito	Id	Barrio	Distrito
7	San Pedrito (S.P.)	Este	16	San salvador de Velazco en el Valle de Jujuy (Centro)	Centro
8	Alto la Viña (A.L.V.)	Norte	17	Bajo Gorriti (B.G.)	Centro
9	Mariano Moreno (M.M.)	Sur	18	Palpalá (P.) ^{<?>}	Palpalá

Cada relevamiento se realizó durante la tercera semana de cada mes, con una extensión no mayor a los 10 días entre la primera y la última encuesta. La distribución de los puntos muestrales se estableció mediante un esquema de muestreo estratificado por conglomerados en una etapa para garantizar la representatividad de los distintos barrios (estratos), donde por razones de accesibilidad y seguridad, ya que los relevamientos fueron realizados por estudiantes de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agrarias, se decidió trabajar con un marco muestral reducido donde las unidades primarias de muestreo (UPM) estuvieron constituidas por todas las manzanas tangentes por alguna de sus cuadras al sistema de *avenidas del aglomerado*, y donde las unidades secundarias de muestreo (USM) fueron todos los puntos de venta localizados en cada UPM. Esta decisión metodológica, si bien implica una limitación en la representatividad espacial completa del aglomerado, no compromete la validez interna de los análisis realizados. Ello se debe a que el objetivo del estudio no consiste en inferir parámetros poblacionales absolutos -lo cual requeriría del empleo de factores de expansión desde el punto de vista de una estimación basada en el diseño-, sino en estimar la estructura relativa de la variabilidad de precios y explorar patrones de correlación espacial dentro del marco de observación definido, a través de una estimación basada en modelos (*model-based inference*), en la que las variables que definen los estratos están incluidas como variables explicativas en el modelo. En este sentido, el diseño adoptado resulta útil para cumplir con los fines exploratorios y analíticos del trabajo, con una base empírica consistente para identificar regularidades espaciales de interés.

En total se visitaron 270 puntos de muestreo, distribuidos proporcionalmente al número de viviendas según el Pre Censo de Viviendas Particulares y Colectivas (INDEC, 2020). De ese total, en cinco puntos de venta los vendedores no aceptaron participar y en otros 17 no se encontraron puestos de venta, lo que obligó a la relocalización de esos puntos de muestra. Al finalizar el relevamiento se obtuvieron 248 respuestas válidas. Cada punto de venta se clasificó según el tipo de comercio como almacén, mercado, mini mercado o *mini market*, supermercado, venta ambulante y verdulería (que también incluyó puestos en ferias minoristas). En las Tablas 2 y 3 puede observarse la distribución de respuestas *positivas* por barrio y por tipo de comercio respectivamente:

Tabla 2: Distribución de USM relevadas con respuestas positivas, por barrio según momento de muestreo

Barrio	Muestra						
	1	2	3	4	5	6	7
Almirante Brown	3	3	1	2	4	6	5
Alto Comedero	10	8	11	9	11	10	5
Alto Gorriti	2	3	0	1	4	4	4
Bajo Gorriti	1	0	0	0	2	2	1
Bajo La Viña	1	1	1	1	1	1	1
Chijra	2	2	3	2	2	2	2

Barrio	Muestra						
	1	2	3	4	5	6	7
Ciudad De Nieva	2	1	1	1	1	1	1
Coronel Arias	2	1	1	1	1	1	0
Cuyaya	3	4	0	2	1	3	3
Dr. Marcelino Vargas	1	1	1	1	0	0	0
Los Huaicos	2	1	1	1	1	1	1
Los Perales	1	1	1	2	1	0	0
Malvinas Argentinas	2	5	2	2	1	1	0
Mariano Moreno	2	1	1	2	1	1	0
San Pedrito	6	3	3	2	1	1	1
San Salvador De Velazco En El Valle De Jujuy	1	0	0	0	3	4	4
Alto La Viña	0	0	1	1	0	0	0
Palpalá	0	0	0	0	5	4	4
Total	41	35	28	30	40	42	32

Tabla 3: Distribución de USM relevadas con respuestas positivas, por tipo de comercio según momento de muestreo

Tipo de comercio	Muestra						
	1	2	3	4	5	6	7
Almacén	20	15	15	18	6	12	6
Mercado	5	6	1	2	11	15	10
Mini mercado	6	1	4	3	9	5	6
Supermercado	1	0	0	0	2	1	2
Venta ambulante	2	3	1	2	3	4	2
Verdulería	6	10	7	5	9	5	6
Otro	1	0	0	0	0	0	0
Total	41	35	28	30	40	42	32

En la Figura 1 se muestra la distribución espacial de las USM con respuesta positiva a lo largo de todo el relevamiento de datos, agrupadas con el fin de facilitar su lectura:

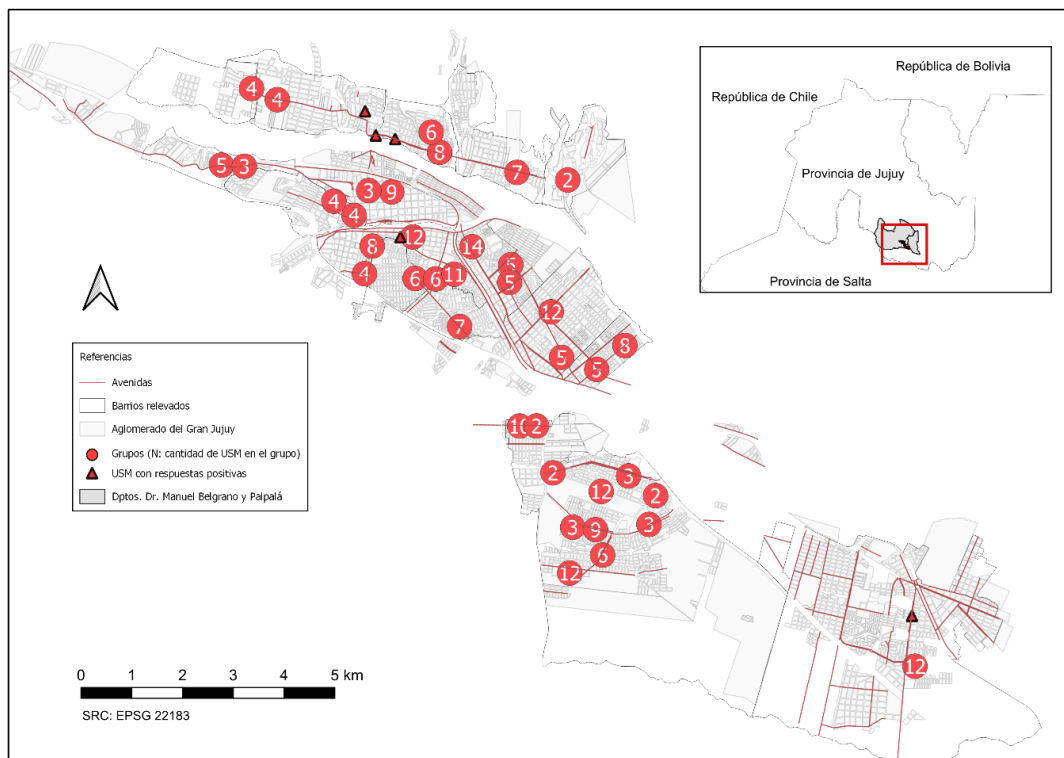


Figura 1: Distribución de USM por barrio

Los registros se tomaron con el aplicativo *KoboCollect*, de la plataforma *KoboToolBox*, que permite coleccionar datos georeferenciados *offline* y posteriormente almacenarlos en una base de datos en la nube.

Siguiendo la metodología descrita por Vicentín Masaro *et al.*, (2020), en cada relevamiento $t \in \{1, 2, \dots, 7\}$, se tomó como medida de dispersión al *logaritmo de la relación del precio de cada producto, sobre el promedio de precios de ese producto*:

$$dv_{ijmt} = \ln \left(\frac{p_{ijmt}}{\bar{p}_{it}} \right) \quad (1)$$

donde p_{ijmt} es el precio del i -ésimo producto ($i = \{1, 2, \dots, 7\}$), en el j -ésimo punto de venta ($j = \{1, 2, \dots, K\}$) localizado en el m -ésimo barrio ($m = \{1, 2, \dots, M\}$) durante el momento t ($t \in \{1, 2, \dots, 7\}$), y l es el tipo de comercio para su identificación ($l = \{1, 2, \dots, L\}$); y $\bar{p}_{it} = \frac{1}{MKL} \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^K \sum_{l=1}^L p_{ijmt}$ es el precio promedio del i -ésimo producto en el período t . Se puede notar que en (1) es equivalente a calcular dv_{ijmt} con precios deflactados y sin deflactar. En adelante, se indicará dv_{ijmt} simplemente como dv . Un punto de venta con un $dv = 0$ para un determinado producto en el tiempo t , indica que ese punto de venta presentó un precio igual al precio promedio para ese producto en el tiempo t .

La determinación de las contribuciones relativas de los factores *barrio* y *tipo de comercio* sobre el valor de dv condicional del producto i en el tiempo t , se realizó mediante la construcción de un *modelo de efectos aleatorios*, con la forma:

$$Y_j | i, t = \mu_{it} + M_{ijt} + L_{ijt} + \epsilon_{ijt} \quad (2)$$

Donde $Y_j | i, t$ representa el valor de dv del producto i en el tiempo t , M_{ijt} y L_{ijt} son los efectos aleatorios marginales de barrio y tipo de comercio respectivamente. Los modelos de efectos aleatorios

son denominados así en el sentido de que sus estimaciones son consideradas como resultados aleatorios o estocásticos del proceso que intenta estimar y no como constantes estimables (Gelman & Hill, 2006). Este enfoque permite aislar la variabilidad estructural de la variabilidad residual incluso en diseños no balanceados (Gelman & Hill, 2006). Esta estructura permite descomponer la varianza total de $\mathbf{Y}$ en 3 (tres) componentes: τ^2 , γ^2 y σ^2 , asignables al barrio, tipo de comercio y punto de venta, respectivamente. Cada varianza parcial mide la proporción de la variación total que puede ser explicada por cada componente. El ajuste del modelo se realizó con la función `lmer()` y el cálculo de las estimaciones relativas de los componentes de varianza se realizó con la función `VarCorr()`, ambas funciones de la librería {lme4} del software estadístico R (4.4.3).

A continuación, se realizó un *análisis de Procrustes Generalizado* (GPA, por sus siglas en inglés), que es una técnica estadística multivariada utilizada para comparar y sintetizar matrices de datos multidimensionales. Para ello se empleó la función `GPA` de la librería {FactoMineR} de R (4.4.3). Este método permite obtener una combinación lineal de los datos llamada *configuración de consenso* o promedio a partir de dos o más matrices provenientes de análisis de componentes principales (PCA), denotadas como, $X_1, X_2, \dots, X_t$, correspondientes a distintos momentos de observación t . La transformación Procrustes se obtiene por escalamiento, rotación y traslación de una matriz de datos que, en términos matriciales, pueden ser expresados del siguiente modo:

$$\mathbf{Y}_k = \rho_k \mathbf{C}_k \mathbf{H}_k + \mathbf{T}_k \quad (3)$$

donde $\mathbf{Y}_k$ representa la transformación de Procrustes, ρ_k el factor de escala, $\mathbf{C}_k$ es una matriz resultante de un Análisis de Componentes Principales (ACP) aplicado sobre una matriz X_t de datos conformadas por n filas (individuos) y p columnas (variables), $\mathbf{H}_k$ es la matriz ortogonal de rotación de dimensión $p \times p$ y $\mathbf{T}_k$ la matriz traslación de dimensión $n \times p$ (Commandeur, 1991; Bruno & Balzarini, 2010; Del Médico, & Vitelleschi, s. f.). En adelante, se designará a la matriz de consenso simplemente como *matriz Z*. Esta matriz puede ser interpretada como un conjunto de valores o *cargas* cuyas magnitudes y direcciones permiten asociar a las unidades observadas (en este trabajo, esas unidades son los barrios) según un criterio de distancias, de la forma que se realiza usualmente en un ACP. Como resultado del GPA, fue posible construir biplots a partir de la matriz Z , que permitieron reconocer patrones y asociaciones por proximidad espacial entre variables. También fue posible analizar la estructura de la variabilidad mediante la descomposición de la Suma de Cuadrados Total (SCT) por medio de un Análisis de la Varianza de Procrustes (PANAVA), que permite particionar la variación total observada en componentes atribuibles al consenso y a los residuos, esto es, los desvíos de cada mes respecto al consenso. Esta descomposición proporciona una medida de la “estabilidad” de las configuraciones espaciales a lo largo del tiempo (Gower, 1975).

El enfoque de Procrustes tiene la ventaja de que es posible trabajar con configuraciones parciales incompletas, es decir, con datos faltantes u omitidos (Commandeur, 1991; Gower, 2005), por lo que puede aplicarse a los datos obtenidos en el relevamiento realizado en este trabajo.

A fin de identificar agrupamientos o estratos de barrios con valores homogéneos de la variable de respuesta (dv), se realizó un análisis de clústeres jerárquico sobre la matriz Z . Se empleó el método de Ward, que asegura la mínima varianza dentro de cada clúster (Ward, 1963). Se construyeron *dendrogramas* para representar las relaciones entre los barrios por mayor proximidad de dv, sobre los cuales se identificaron aquellos agrupamientos que maximizaron la variabilidad *entre* agrupamientos y minimizaron la variabilidad *dentro* de cada agrupamiento. El número g de estos agrupamientos fue establecido mediante el método de la *silueta*, y resulta del número de agrupamientos que maximiza el *coeficiente de la silueta* para un punto i , definido como:

$$s(i) = \begin{cases} 1 - a(i)/b(i), & \text{si } a(i) < b(i) \\ 0, & \text{si } a(i) = b(i) \\ b(i)/a(i) - 1, & \text{si } a(i) > b(i) \end{cases} \quad (4)$$

donde $a(i)$ es la distancia del punto i respecto de todos los puntos del mismo agrupamiento, y $b(i)$ es la distancia del punto i y los puntos del grupo más cercano al que no pertenece (Rousseeuw, 1987). Se debe notar que $s(i)$ varía entre -1 y 1.

Una vez identificados los agrupamientos de barrios por dispersión de precios similares, se calcularon el *Índice de Moran Global* y el *Índice de Moran Local*, también llamado *Local Indicators of Spatial Association* (LISA), que es una medida para identificar patrones de autocorrelación espacial a nivel *local* ya que, a diferencia del Índice de Moran Global (que evalúa la autocorrelación espacial en todo el conjunto de datos), LISA detecta clústeres espaciales (áreas con valores similares) y outliers espaciales (valores atípicos en relación con sus vecinos). Se utilizaron las funciones *moran.test()* y *localmoran()* de la librería {spdep} de R (4.4.3).

El primero se calcula:

$$I = \frac{n \sum_{(2)} w_{ij} z_i z_j}{S_0 \sum_{i=1}^n z_i^2}$$

En tanto, el Índice de Moran Local se calcula:

$$I_i = \frac{N}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \frac{x_i - \bar{x}}{m_2} \sum_{j=1}^N w_{ij} (x_j - \bar{x})$$

donde w_{ij} es una matriz de ponderaciones espaciales, $z_j = (x_j - \bar{x})$ y $m_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$ (Pebesma & Bivand, 2023). La matriz w_{ij} fue calculada con el criterio *Queen* ("reina"), según el cual dos áreas o *Láttices* pueden ser considerados vecinos si comparten al menos un borde o vértice. Luego, sus centroides fueron utilizados para definir la matriz de pesos espaciales, asignando un valor positivo solo a aquellas unidades que cumplen con dicha relación de vecindad.

En función del valor de I_i , una unidad o *Láttice* puede ser clasificado según su relación con sus vecinos según las categorías indicadas en Tabla 4:

Tabla 4: Categorías de *Láttices* según el resultado de LISA

Categoría	Signo de I_i	Signo de I_j (vecinos)	Interpretación
Alta - Alta (HH)	Positivo	Positivo	Área con valor alto rodeada de valores altos (clúster de altas)
Baja - Baja (LL)	Negativo	Negativo	Área con valor bajo rodeada de valores bajos (clúster de bajas)

Alta - Baja (HL)	Positivo	Negativo	Área con valor alto rodeada de valores bajos (outlier espacial)
Baja - Alta (LH)	Negativo	Positivo	Área con valor bajo rodeada de valores altos (outlier espacial)

Fuente: Moraga, (2024)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se observan los valores tipificados de *dv* por barrio, según producto analizado. En términos generales, desde un enfoque univariado, la dispersión de los precios por barrio se distribuyó en torno a los valores -2 y 2 desvíos estándar, y el 50% central de los precios se ubicó entre -1 y 1 desvío estándar del valor medio, lo que sugiere un comportamiento general de tipo normal o gaussiano de la dispersión de los precios en torno al valor medio o de equilibrio. Dentro de este comportamiento normal, algunos barrios tendieron a mostrar un *dv* por encima del valor medio (Los Perales, Alto y Bajo La Viña, Ciudad de Nieva, Dr. Marcelino Vargas y Centro). Los valores de *dv* registrados en el barrio Los Perales (L.P.) para lechuga se ubicaron consistentemente por encima del percentil 97.5, sugiriendo un comportamiento estadísticamente atípico.

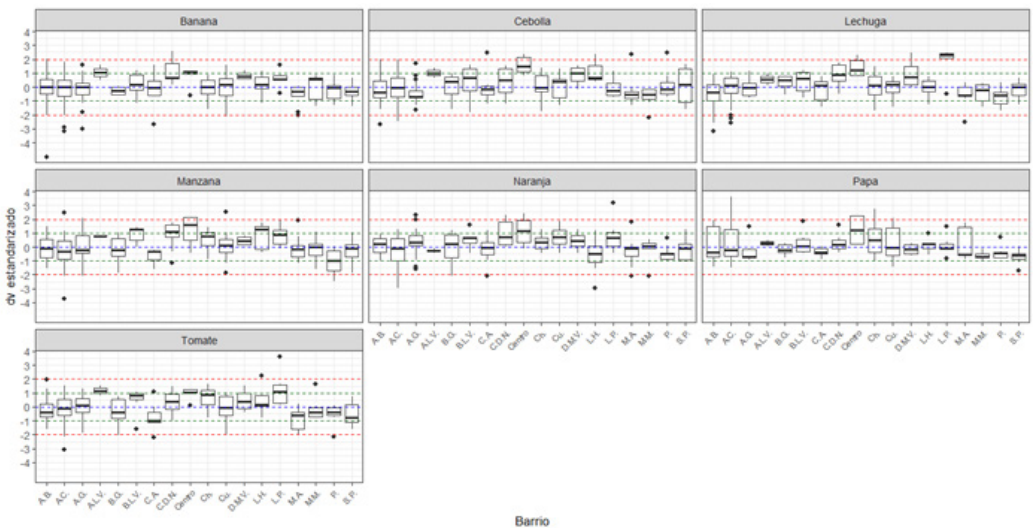


Figura 2: Dispersión de precios (*dv*) estandarizada por barrio, según producto

Para establecer la contribución relativa de los factores barrio y tipo de comercio sobre *dv*, se realizó una descomposición de los componentes de varianza (Gelman & Hill, 2006; Snijders & Bosker, 2012) utilizando un modelo lineal de efectos aleatorios. La bondad de ajuste fue evaluada mediante el diagnóstico de los residuos estandarizados; su distribución es compatible con el supuesto de normalidad (Pinheiro & Bates, 2000), lo que permite determinar la validez del modelo para la inferencia estadística, tal como se verifica en la Figura 3:

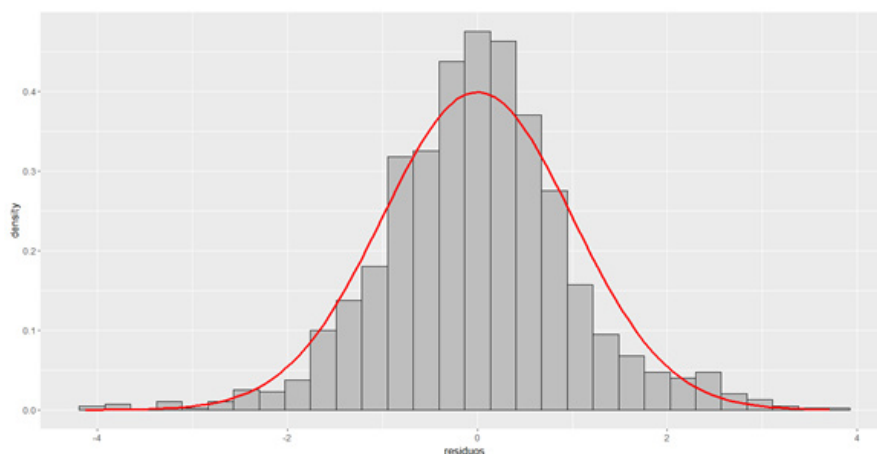


Figura 3: Distribución empírica y teórica normal de los residuos estandarizados del modelo de efectos aleatorios ajustado

A continuación, se presentan las contribuciones a la varianza de cada factor a nivel general, y por producto (Tabla 5):

Tabla 5: Contribuciones relativas de las componentes de varianza asociadas a cada factor

Producto	Barrio τ^2	Tipo de Comercio γ^2	Residual (punto de venta) σ^2
	%		
Papa	10,15	0,29	89,56
Banana	16,02	3,49	80,49
Cebolla	9,24	2,23	88,53
Lechuga	31,22	1,58	67,2
Naranja	9,97	0	90,03
Manzana	19,45	6,79	73,76
Tomate	16,64	15,88	67,48
General	14,94	1,17	83,89

En términos generales, en un momento de relevamiento *t* dado, la variabilidad explicada por el factor barrio representó el 15% de la variación total observada, mientras que el factor tipo de comercio tuvo una contribución muy baja, de poco más del 1%. La variabilidad general no explicada por el modelo fue de aproximadamente un 84%, la cual puede ser imputada al punto de venta como un término que sintetiza una sumatoria de efectos de variables no incluidas en el modelo y que se puede interpretar como una variabilidad intra barrio. Lo anterior pone en perspectiva la contribución moderada del factor barrio como variable explicativa en la formación de precios minoristas, y prácticamente nula del tipo de comercio (nula en el caso de la naranja), con excepción del tomate. La papa, cebolla y naranja fueron los productos relativamente más estables entre barrios, mientras que la lechuga fue la más variable entre barrios, seguida por la manzana (Tabla 5).

Este resultado constituye una evidencia empírica de la alta dispersión intra barrial, con fuertes asimetrías en la conformación de precios minoristas. Estas asimetrías, potenciadas por ausencia o escasez de información sobre precios de referencia, impiden la convergencia hacia un precio único,

incluso dentro de un mismo distrito o barrio. No obstante, aunque moderada, la contribución relativa del factor barrio puede considerarse como una fuente de variación estructural o componente espacial con efectos relativamente estables en el costo de acceso a los productos analizados en el aglomerado.

Dado que el factor tipo de comercio tuvo una contribución relativa muy baja para explicar la variabilidad general observada, se realizó el análisis GPA considerando únicamente las dimensiones barrio y momento t. La Tabla 6 detalla las componentes de las sumas de cuadrados marginales por barrio de un PANAVA en la que pueden observarse las componentes de varianza entre y dentro de cada momento de relevamiento t, para cada barrio:

Tabla 6: Descomposición de sumas de cuadrados de Procrustes marginales por barrio

Barrio	SC Ajuste	SCR	SCT	%
Centro	0,90	0,10	1,00	89,63
P.	0,32	0,04	0,36	88,27
L.P.	0,62	0,12	0,74	84,18
A.L.V.	0,07	0,01	0,08	83,83
D.M.V.	0,17	0,05	0,23	76,39
M.M.	0,26	0,10	0,36	70,94
B.L.V.	0,30	0,16	0,46	65,73
M.A.	0,21	0,11	0,32	65,11
A.B.	0,30	0,16	0,46	64,84
C.D.N.	0,31	0,18	0,49	62,49
L.H.	0,37	0,24	0,61	60,94
B.G.	0,06	0,04	0,10	58,51
A.G.	0,21	0,16	0,37	56,27
C.A.	0,26	0,22	0,47	54,18
S.P.	0,20	0,20	0,40	50,63
Cu.	0,05	0,07	0,12	43,04
A.C.	0,13	0,18	0,31	41,21
Ch.	0,08	0,18	0,26	29,30
sum	4,80	2,33	7,13	67,29

La columna ‘%’ de la Tabla 6, ordenada en forma descendente, es una medida de la “estabilidad” relativa entre momentos de muestreo de la dispersión de precios por barrio. En este estudio, el barrio Centro mostró la menor variabilidad en los precios a lo largo del período de relevamiento, lo que indica un comportamiento más estable. En contraste, el barrio Chijra presentó la mayor dispersión de precios entre relevamientos, lo que sugiere un comportamiento más inestable.

Desde una perspectiva metodológica, la estabilidad relativa entre momentos es un indicador de la representatividad de los componentes de la matriz Z para describir la variabilidad subyacente a cada barrio (a mayor estabilidad relativa, mayor representatividad), y, en consecuencia, de la confiabilidad de las conclusiones que a partir de ella se deriven.

Desde el punto de vista del análisis de precios, esta métrica permite distinguir entre variabilidad estructural y volatilidad coyuntural. Una mayor estabilidad relativa sugiere la existencia de mecanismos de formación de precios con un mayor componente determinista; por el contrario, una baja estabilidad sugiere una formación de precios errática, donde la dispersión no responde a un patrones regulares, sino a ineficiencias por falta de información o a la informalidad propia de esos puntos de venta.

Como resultado de esta modelización, se obtuvo la matriz Z que, como se indicó anteriormente, permite analizar proximidades entre barrios en términos de distancias, para un momento tipo t , de forma análoga a un Análisis de Componentes Principales (ACP). A fin de establecer el número óptimo de agrupamientos homogéneos entre barrios, se realizó la prueba de la silueta, que permitió identificar 2 (dos) estratos o agrupamientos homogéneos (Figura 4):

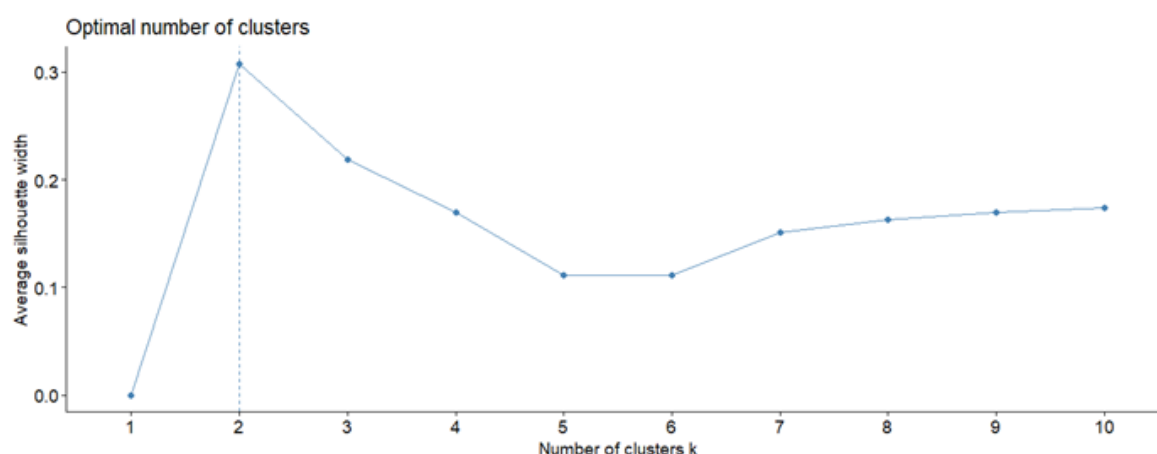


Figura 4: Resultado de la prueba de la silueta, sobre la matriz Z

Tabla 7: Variabilidad explicada por cada dimensión de la matriz Z

Variación	DIM1	DIM2	DIM3	DIM4	DIM5	DIM6	DIM7
Desviación estándar	0,17	0,10	0,08	0,06	0,06	0,05	0,04
Proporción de varianza	0,51	0,19	0,10	0,07	0,06	0,04	0,03
Proporción acumulada	0,51	0,70	0,80	0,87	0,93	0,97	1,00

En Tabla 7 se observa que las dos primeras dimensiones de la matriz Z explican un 70% de la variación total observada, lo cual es un buen valor descriptivo, ya que supera el umbral del 60% sugerido habitualmente en las ciencias sociales para considerar una solución factorial como satisfactoria (Hair et al., 2019). En consecuencia, se construyó un gráfico *biplot* (Figura 5) con las dos primeras componentes de Z, identificando los barrios de cada uno de los dos clústeres:

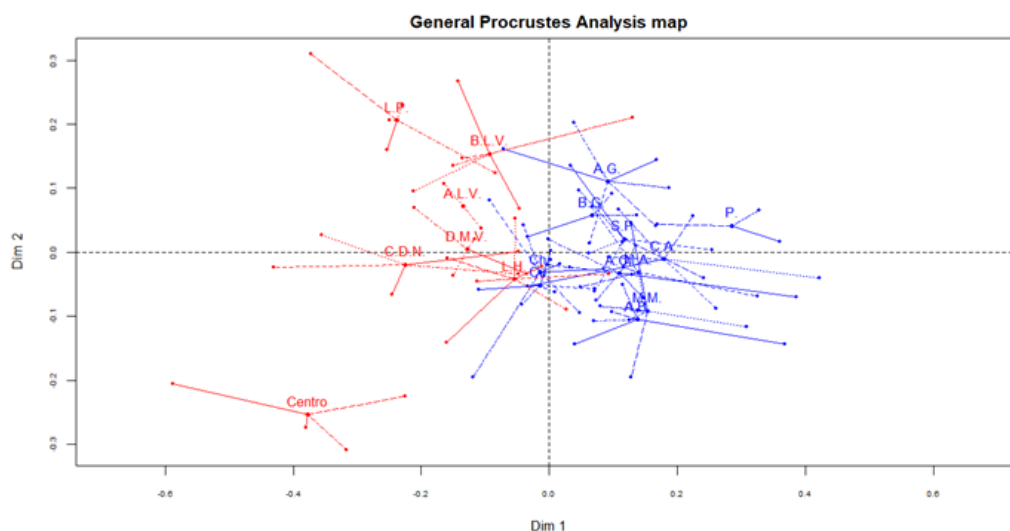


Figura 5: Biplot de configuraciones parciales y de consenso de la matriz Z

El biplot construido a partir de la matriz Z permite visualizar la relación entre las configuraciones parciales de cada barrio y la configuración de consenso (Figura 5). Esta relación se presenta como una “estrella”, donde los nodos satélite corresponden a las configuraciones parciales obtenidas en cada momento t de relevamiento, y el nodo central corresponde al promedio de las anteriores, o consenso. Cuanto más cerca entre sí los nodos centrales, mayor es la proximidad o semejanza en la dispersión de precios entre barrios. Sin embargo, se hace dificultoso poder identificar y comparar visualmente relaciones de proximidad entre barrios. Por ese motivo, se realizó un análisis de *clústeres jerárquicos* por el método de Ward, que permitió construir un Dendrograma adecuado para facilitar la observación de estas proximidades.

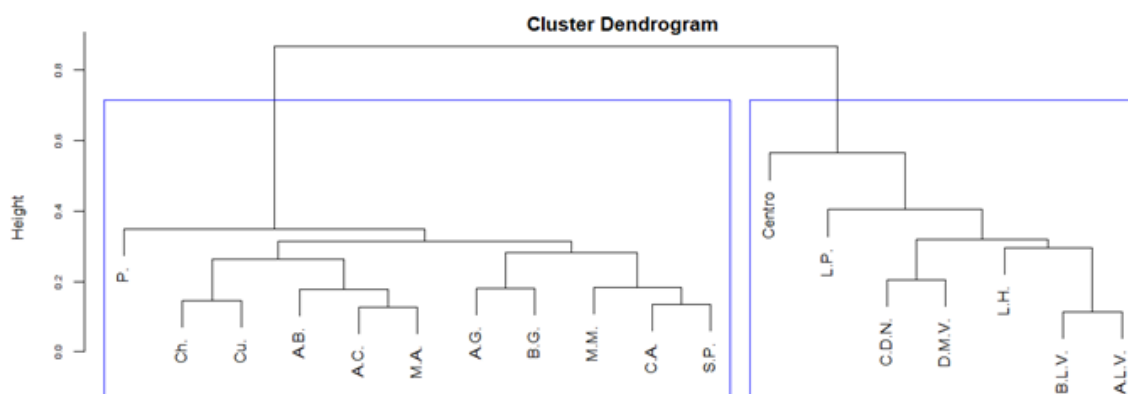


Figura 6: Dendrograma de un análisis clúster jerárquico por el método de Ward, sobre las cargas de cada barrio en la matriz Z

La Figura 6 permite identificar con mayor claridad las asociaciones entre barrios según la dispersión general de precios. La segmentación en dos estratos denota un comportamiento diferencial de los barrios del distrito Norte, junto con Los Huaicos y San Salvador de Velazco en el Valle de Jujuy. A su vez, dentro de cada clúster, pueden reconocerse cierta estructura subyacente de relación entre barrios contiguos. A fin de determinar si estas relaciones son significativas, se realizó la prueba de Moran Global con una matriz de pesos “Queen” (Figura 7), obteniéndose un valor $I = 0,53$, que resultó *altamente significativo* con un valor $p = 0,003$ (Cliff & Ord, 1981). Por lo tanto, *existe una autocorrelación espacial positiva global*, lo que indica que los barrios con precios similares tienden a agruparse geográficamente:

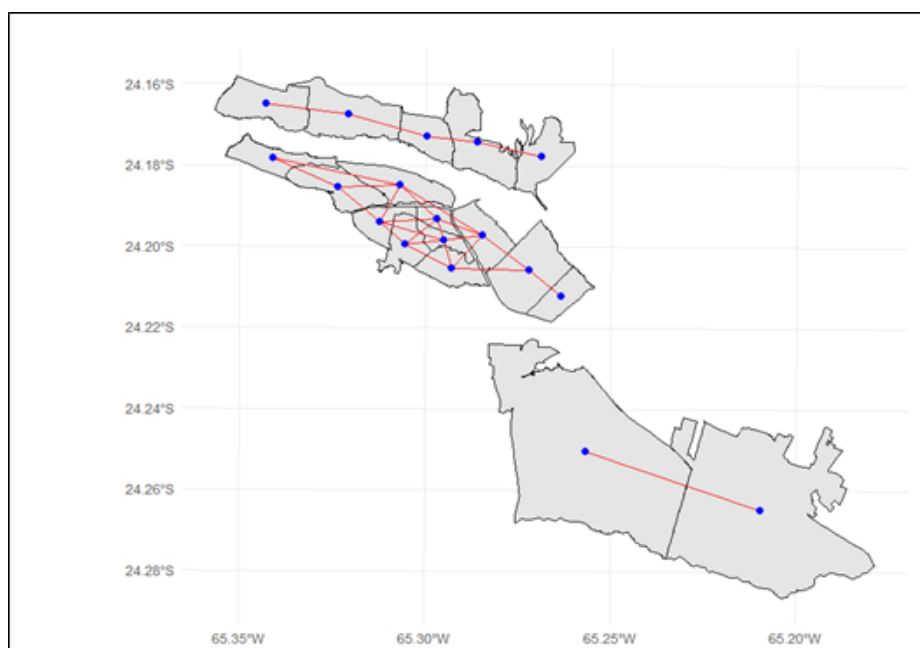


Figura 7: Red de centroides conectados por vecindad según el criterio "Queen"

Se realizó la prueba LISA o *Prueba Local de Moran* sobre la primera dimensión de la matriz Z que, como se vio anteriormente permite explicar un 51% de la variabilidad observada y constituye el eje sobre el cual puede identificarse la "segmentación" de los clústeres. El resultado indica que fueron significativas las autocorrelaciones locales en Los Huaicos y Ciudad de Nieva, con valores de I_{local} de 0,59 ($p = 0,01$) y 1,13 ($p = 0,04$) respectivamente. En ambos casos se trató de correlaciones *High-High*, es decir, barrios con d_v elevada rodeados por barrios con d_v elevados.

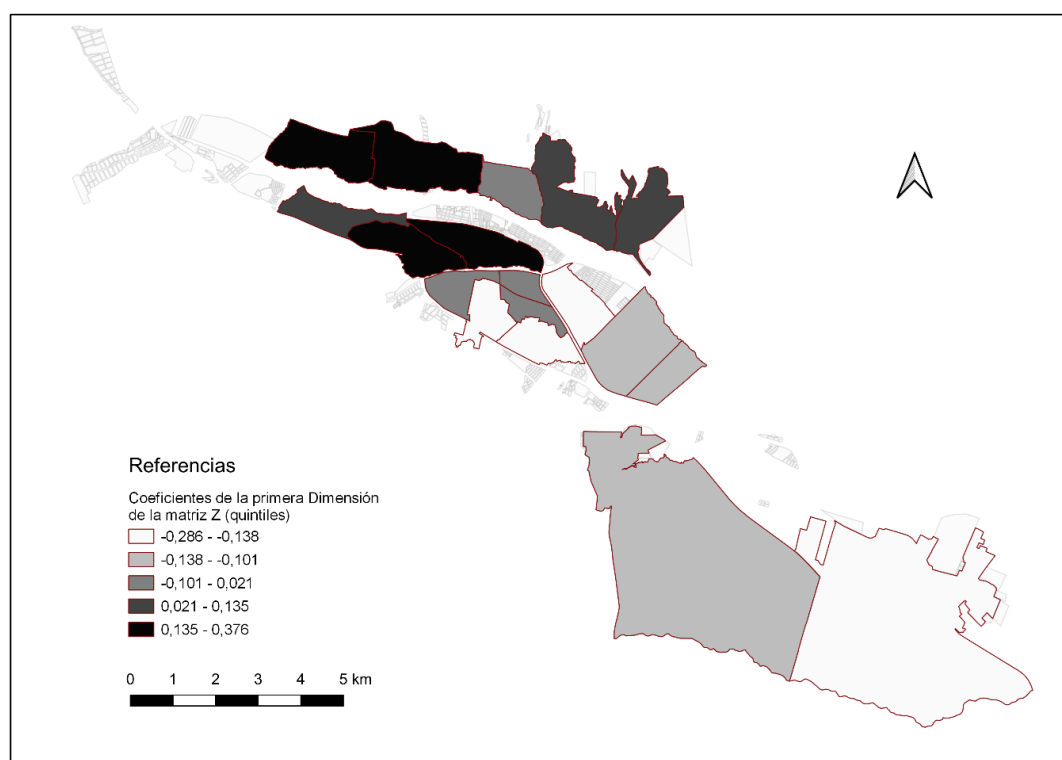


Figura 8: Quintiles de coeficientes o *loadings* de la primera dimensión de la matriz Z por barrio

En la Figura 8 se observan, en tonos oscuros, los barrios con coeficientes de carga o *loadings* mayores en la primera dimensión de la matriz Z, asociados con precios relativos más elevados. En tonos claros, se identifican los barrios con precios relativos menores.

Esta configuración territorial permite evidenciar diferencias estructurales con incidencia en los costos de comercialización y la formalidad de canales de venta. Los barrios ubicados hacia el sur del aglomerado, asociados a menores precios relativos, coinciden con zonas donde prevalecen circuitos de comercialización más informales como ferias barriales o venta ambulante. Por el contrario, los precios altos en los barrios del centro y norte del aglomerado, pueden atribuirse, entre otros factores, a mayores costos fijos de comercialización (alquileres comerciales) y a una demanda menos elástica al precio, lo que permite a los oferentes sostener precios superiores de manera sistemática.

Finalmente, los resultados de este análisis exploratorio representan un punto de partida para continuar esta línea de investigación, integrando otras variables con potencial poder predictivo y explicativo, a fin de comprender en mayor profundidad la variabilidad en la dispersión de precios minoristas de frutas y verduras en el aglomerado Jujuy – Palpalá.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que, incluso en un contexto caracterizado por la informalidad y la escasez de información en la cadena de valor hortícola provincial, fue posible identificar patrones espaciales estables en la formación de precios minoristas. La evidencia analizada sustenta la hipótesis de que el factor barrio ejerce un peso relativo moderado pero estable como variable explicativa de la variabilidad de precios. Por otra parte, el tipo de comercio no presentó aportes significativos, con la excepción de productos específicos como el tomate.

El análisis multivariado aplicado sobre la matriz de consenso evidenció la existencia de dos agrupamientos espaciales bien definidos, que separan geográficamente al aglomerado Jujuy-Palpalá, destacándose un patrón diferencial en los barrios del distrito Norte, junto con Los Huaicos y barrio Centro. Esta segmentación fue validada mediante la prueba de autocorrelación espacial global de Moran I, cuyo valor significativo confirma que los precios no se distribuyen aleatoriamente en el territorio, sino que tienden a agruparse espacialmente. Simultáneamente, la prueba LISA permitió detectar clústeres locales relevantes en Ciudad de Nieva y Los Huaicos, corroborando la existencia de núcleos de precios relativos mayores rodeados de zonas con comportamientos similares.

En línea con los argumentos desarrollados en la introducción, donde se plantea que la dispersión de precios es una manifestación de información imperfecta en mercados atomizados e informales, los hallazgos de este estudio refuerzan la necesidad de contar con sistemas de monitoreo georreferenciados y metodologías analíticas robustas que aporten a una toma de decisiones más eficiente. Este enfoque aporta evidencia para comprender mejor el funcionamiento del mercado minorista de productos para consumo fresco, lo que puede constituir una herramienta de utilidad para la toma de decisiones informadas.

BIBLIOGRAFÍA

Bruno, C. & Balzarini, M. (2010). Ordenaciones de material genético a partir de información multidimensional. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. 42(2): 183-200.

Cliff, A. D., Ord, J. K. 1981 Spatial processes, Pion, p. 21.

- Commandeur, J. (1991). *Matching Configurations*. Department of Psychometrics and Research Methodology. DSWO Press, Leiden University. Países Bajos.
- Del Médico, Ana Paula & Vitelleschi, María Susana. (s. f.). *Análisis procrustes generalizado. Una aplicación en el Área agrícola*. Recuperado de: <https://rehip.unr.edu.ar/items/65620950-5641-4adc-b090-35da0ae2f1e8/full>
- Dirección General de Programas y Proyectos Sectoriales y Especiales - MAGYP. (2022). *EPSA - ESTRATEGIA PROVINCIAL PARA EL SECTOR AGROALIMENTARIO*. Recuperado de:
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2022/08/02_epsa_jujuy.pdf
- Gelman, A., & Hill, J. (2006). *Data Analysis Using Regression and Multilevel/Hierarchical Models* (1.ª ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511790942>
- Gower, J. y Dijksterhuis, G. 2005. *Procrustes problems*. Oxford University Press.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.): 142. Cengage Learning.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (Argentina) (2020). *Precenso de viviendas*. Recuperado de <https://precensodeviviendas.indec.gob.ar/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (Argentina) (Ed.). (2021). *Censo Nacional Agropecuario 2018: Resultados definitivos, abril de 2021*. Ministerio de Economía, Argentina : Instituto Nacional de Estadística y Censos, República Argentina. Recuperado de:
https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018_resultados_definitivos.pdf
- Market Information Organization of the Americas, Washington, D.C. (United States of America) & Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2016). *Manual sobre análisis básico de precios agrícolas para la toma de decisiones*.
- Masaro, J. V., Rossini, G., & Chara, A. L. (2020). EVIDENCIA DE LA DISPERSIÓN DE PRECIOS DE ALIMENTOS MINORISTA EN SANTA FE - ARGENTINA. *Revista Americana de Emprendedorismo e Inovação*, 2(1), 156-165. <https://doi.org/10.33871/26747170.2020.2.1.3286>
- Moraga, P. (2024). *Spatial statistics for data science: Theory and practice with R* (First edition). CRC Press.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). *América Latina y el Caribe—Panorama Regional de la Seguridad Alimentaria y la Nutrición 2023*. FAO; IFAD; PAHO; WFP; UNICEF; <https://doi.org/10.4060/cc8514es>
- Pebesma, E., & Bivand, R. (2023). *Spatial Data Science: With Applications in R* (1.ª ed.). Chapman and Hall/ CRC. <https://doi.org/10.1201/9780429459016>
- Pérez, G.A. (2010). *El mercado minorista de hortalizas en la provincia de Tucumán* [Universidad de Buenos Aires]. Recuperado de: <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/6754>

- Pinheiro, J. C., & Bates, D. M. (2000). *Mixed-effects models in S and S-PLUS*. Springer. <https://doi.org/10.1007/b98882>
- Martínez, R., Golovanevsky, L. & Medina, F.. (2010). *Economía y empleo en Jujuy*. Recuperado de: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/68811698-60a4-4e60-bd42-d6210304bd4a/content>
- Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 20, 53-65. [https://doi.org/10.1016/0377-0427\(87\)90125-7](https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7)
- Snijders, T. A. B., & Bosker, R. J. (2012). *Multilevel analysis: An introduction to basic and advanced multilevel modeling* (2.ª ed.). SAGE Publications.
- Sorensen, A. T. (2000). Equilibrium Price Dispersion in Retail Markets for Prescription Drugs. *Journal of Political Economy*, 108(4), 833-850. <https://doi.org/10.1086/316103>
- Stahl, D. O. (1996). Oligopolistic pricing with heterogeneous consumer search. *International Journal of Industrial Organization*, 14(2), 243-268. [https://doi.org/10.1016/0167-7187\(94\)00474-9](https://doi.org/10.1016/0167-7187(94)00474-9)
- Stigler, G. J. (1961). The Economics of Information. *Journal of Political Economy*, 69(3), 213-225. <https://doi.org/10.1086/258464>
- Varian, H. (1981). A Model of Sales: Errata. *American Economic Review*, 71(3). <https://EconPapers.repec.org/RePEc:aea:aecrev:v:71:y:1981:i:3:p:517>
- Vicentin Masaro, J. & Chara, A.L. (2020). ¿Existen patrones espaciales en la fijación de precios minoristas de alimentos en los supermercados de la ciudad de Santa Fe? *Cuadernos del Cimbage*, 22, 105-143.
- Ward, J. H. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, 58(301), 236-244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>

TRABAJO

COMPARACIÓN DE DOS MÉTODOS FENOLÓGICOS EN DURAZNERO

COMPARISON OF PHENOLOGICAL METHODS IN PEACH TREES

Vera, M. L.¹, Alabar, F. D.¹, Moreno, C. A.¹, Valdiviezo Corte, M.¹, Arias, P.² y Hurtado, R.¹

¹ Cátedra de Agroclimatología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy (UNJu), Alberdi N° 47, San Salvador, Jujuy, Argentina, (CP4600)

² Cátedra de Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy (UNJu), Alberdi N° 47, San Salvador, Jujuy, Argentina, (CP4600)

*Autor para correspondencia:
mvleonel28@gmail.com

Período de Publicación:
Diciembre 2025

Historial:
Recibido: 29-07-25
Aceptado: 22-09-25

RESUMEN

La fenología estudia los cambios periódicos en la apariencia de las plantas a lo largo de su ciclo ontogénico, influenciados por factores ambientales. A través de los registros fenológicos, es posible identificar las tolerancias y exigencias meteorológicas de los cultivos, así como determinar períodos de mayor sensibilidad a heladas, definir momentos adecuados para aplicaciones fitosanitarias y optimizar el control de plagas y enfermedades. En la provincia de Jujuy existe escasa información fenológica sobre cultivos caducifolios. El duraznero (*Prunus persica* L. Bastch), cultivado en los valles templados, constituye una importante fuente de ingresos debido a la obtención de frutos de primicia. Por ello, el monitoreo fenológico resulta fundamental para el seguimiento del crecimiento y desarrollo tanto de variedades comerciales como de aquellas obtenidas por cruzamientos en la zona. El objetivo de este trabajo es comparar la aplicabilidad y adaptabilidad de dos métodos de observación fenológica, tales como el del Instituto Federal de Biología de la Oficina Federal de Variedades Vegetales e Industria Química (BBCH, por sus siglas en alemán) y el método fitofenológico integral del Ingeniero Ledesma (MFIL). Se analiza su utilidad en el monitoreo diario y la investigación científico y se verifica su adaptabilidad al cultivo de duraznero en dos variedades: *Flordaking* y *Early grande*. Así mismo busca aportar criterios empíricos que orienten a la selección del método más adecuado para el registro fenológico y la gestión productiva del cultivo. Los resultados indican que el método BBCH resulta más sencillo de aplicar y brinda una amplia información, mientras que el MFIL, aunque más complejo, permite relevar una mayor cantidad de información fenológica que BBCH. Este trabajo aporta datos empíricos valiosos para la planificación y toma de decisiones para los productores de los Valles de Templados, de Jujuy, Argentina.

Palabras clave: cambios periódicos, monitoreo, datos empíricos

SUMMARY

Phenology studies the periodic changes in plant appearance throughout their ontogenic cycle, influenced by environmental factors. Phenological records make it possible to identify crops' tolerances and meteorological demands, as well as to determine periods of greatest sensitivity to frost, define appropriate timing for phytosanitary applications, and optimize pest and disease control. In the province of Jujuy, there is scarce phenological information on deciduous crops. The peach tree (*Prunus persica* L. Bastch), grown in temperate valleys, is an important source of income due to the production of early fruits. Therefore, phenological monitoring is essential for assessing the growth and development of both commercial varieties and those obtained through crossbreeding in the area. The objective of this study is to compare the applicability and adaptability of two phenological observation methods: the Federal Institute of Biology of the Federal Office for Plant Varieties and Chemical Industry (BBCH) and the Ledesma Integrated Phytophenological Method (MFIL). The usefulness of these methods for daily monitoring and scientific research is analyzed, and their adaptability to peach cultivation is evaluated in two varieties: *Flordaking* and *Early grande*. It also seeks to provide empirical criteria to guide the selection of the most appropriate method for phenological recording and productive crop management. The results indicate that the BBCH method is easier to apply and provides a wealth of information, while the MFIL, although more complex, allows for the collection of a greater amount of phenological information than BBCH. This study provides valuable empirical data for planning and decision-making for producers in the Temperate Valleys of Jujuy, Argentina.

Keywords: periodic changes, monitoring, empirical data

INTRODUCCIÓN

Los organismos vivos superiores experimentan una serie de transformaciones anatómicas y morfológicas durante su ciclo ontogénico, que se corresponden internamente con cambios en sus procesos fisiológicos vitales regidos por sus características genéticas y reguladas por los factores externos del ambiente físico en el que crecen y se desarrollan. La fenología estudia la relación entre los fenómenos biológicos, periódicos y las condiciones meteorológicas que determinan la apariencia de los seres vivos como respuesta a las variaciones ambientales (Pascale & Damario, 2016). El interés primordial de la fenología en la agricultura, es coadyuvar como método de estudio en el conocimiento de las exigencias y tolerancias meteorológicas de los cultivos (Murphy & Hurtado, 2016). En *Prunus pérsica* (L. Bastch), la fenología es empleada para identificar la época de mayor sensibilidad a heladas (García et al., 2013), también para aplicación de fitosanitarios en el control de Sarna *Venturia carpophila* y determinar la eficiencia en distintos estados fenológicos de la planta y del progreso de la enfermedad (Cragnolini et al., 2005). Por lo que, el estudio de la fenología en la agronomía es importante para la planificación de los sistemas productivos (Pascale & Damario, 2016). En la provincia de Jujuy hay escasa información referida a la fenología de los cultivos caducifolios.

Existen varios registros fenológicos de observación, como el Método Fitofenológico Integral del Ingeniero Ledesma (MFIL) (Ledesma, 1953), cuya peculiaridad es que cada observación consiste en la apreciación de la actividad visible total de la planta y la intensidad con que se produce o finaliza en

los diversos eventos fenológicos (Murphy & Hurtado, 2016). En 1989 surge una nueva nomenclatura para describir los estadios fenológicos que se utilizan tanto para plantas leñosas como herbáceas debido a la unificación de todos los códigos utilizados anteriormente para las diferentes familias botánicas y fue desarrollado por el Instituto Federal de Biología de la Oficina Federal de Variedades Vegetales e Industria Química (BBCH, por sus siglas en alemán) (Martínez, 2012). Este método de origen alemán, es empleado por la Red de Observaciones Meteorológicas de Europa, y avalado como estándar por la Organización Meteorológica Mundial en 2017, fue adaptado para distintas regiones y especies Monocotiledóneas y Dicotiledóneas (Lujan & Castellana, 2012). Porras *et al.*, (2009) compararon diversas escalas fenológicas en *Citrus limón* en el periodo de floración y cuajado, concluyendo que la Escala General BBCH es de uso frecuente, ya que no profundiza en el estado de la flor, sino en el aspecto general del árbol.

La especie *Prunus pérsica* conocida como duraznero o durazno, tiene su origen en las zonas montañosas del Tibet y del Norte de China. En América, su ingreso acontece con las expediciones de Colón, extendiéndose desde Estados Unidos y México hasta la totalidad del continente siguiendo diversas rutas. Luego del año 1550 esta especie ingresa junto a otras originarias del Viejo Mundo, tales como el trigo y la cebada en las zonas templadas del Noroeste Argentino (Lambare & Pochettino, 2012). En Argentina la distribución del cultivo de duraznero, se encuentra entre los paralelos 24° S y 40° S, desde la provincia de Jujuy hasta Río Negro, respectivamente. La provincia de Jujuy tiene una superficie cercana a 800 ha implantadas con durazno temprano y extra temprano realizadas por 180 productores, los cuales producen desde hace unos 40 y 50 años localizados en el departamento El Carmen, principalmente en las localidades de Perico y Monterrico (Curzel, 2020). Los principales cultivares implantados son *Flordaking*, *Don Agustín*, *Opedepe*, *Rojo dos*, entre otras, en las localidades de El Milagro, Pampacho, Perico y El Carmen, mientras que en zonas de mayor acumulación de frío prevalecen: *Junge gold* y *Caldessi* entre otras. Este cultivo en los valles templados de Jujuy representa una importante fuente de ingresos, debido a que se obtiene fruta de primicia (Curzel & Paredes, 2021). Es por ello que la observación fenológica es relevante para realizar el seguimiento del crecimiento y desarrollo de los cultivares en producción (Yzarra & López Ríos, 2017), y de las obtenidas por cruzamientos en la zona (Curzel & Paredes, 2021). Por lo antes expresado, el objetivo de este trabajo fue comparar dos métodos fenológicos MFIL y BBCH empleados en los cultivares de Duraznero *Flordaking* y *Early grande*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y parcelas muestreadas

El estudio se realizó en el Campo Experimental Dr. Emilio Navea, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Jujuy ubicado en la Localidad de Severino, departamento El Carmen, provincia de Jujuy (Latitud: 24°21,063' S; Longitud: 65° 11,489' W y Altitud: 1073 m snm). Los cultivares del estudio presentan un marco de plantación de 3 m de distancia entre plantas y 4 m entre surcos, la longitud del surco es de 31 m, con una superficie total de 1.984 m² (Figura 1). Los ejemplares de duraznero en estudio cuentan con un tiempo de implantación aproximado de entre 15 a 20 años (Calisaya, "com. pers.", 2019). En la provincia de Jujuy, el ciclo productivo de las variedades de duraznero extra temprana y temprana se extiende desde los primeros días del mes de julio hasta cosecha entre los meses de septiembre a diciembre. Las cultivares en estudio *Flordaking* y *Early grande*, fueron los primeros en implantarse en la provincia (Curzel & Paredes, 2021; Curzel, 2020; Curzel & Achem, 2019).

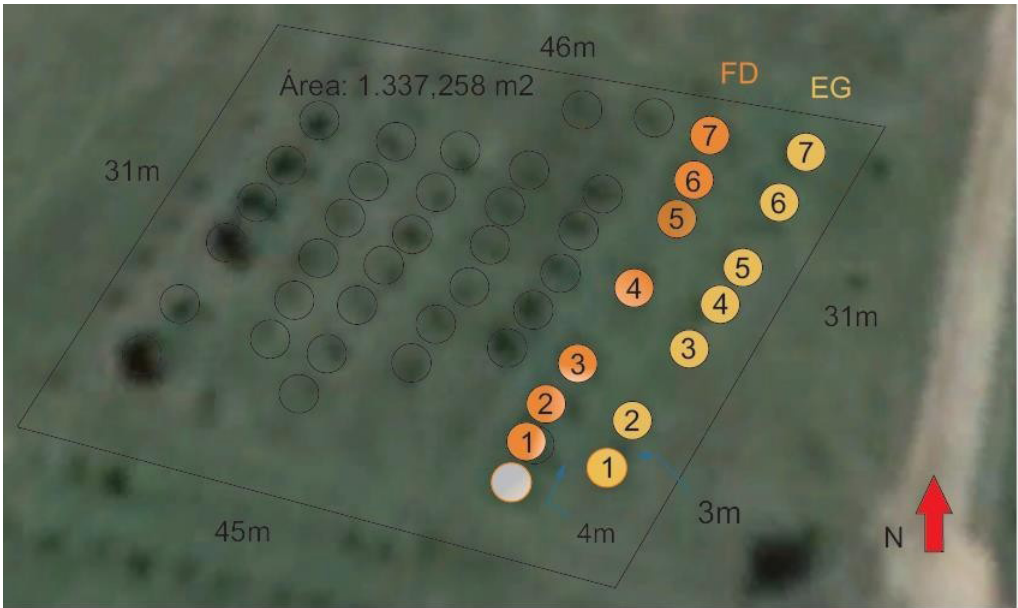


Figura 1: Dimensión de la parcela de Durazneros e identificación de las variedades. (Eg: *Early grande* y Fd: *Flordaking*).
Fuente Propia.

Fases Fenológicas del duraznero

La Figura 2, muestra las fases fenológicas del cultivo del duraznero. Su conocimiento es el punto de partida para el empleo de cada método de observación fenológica (Yzarra & López Ríos, 2017).

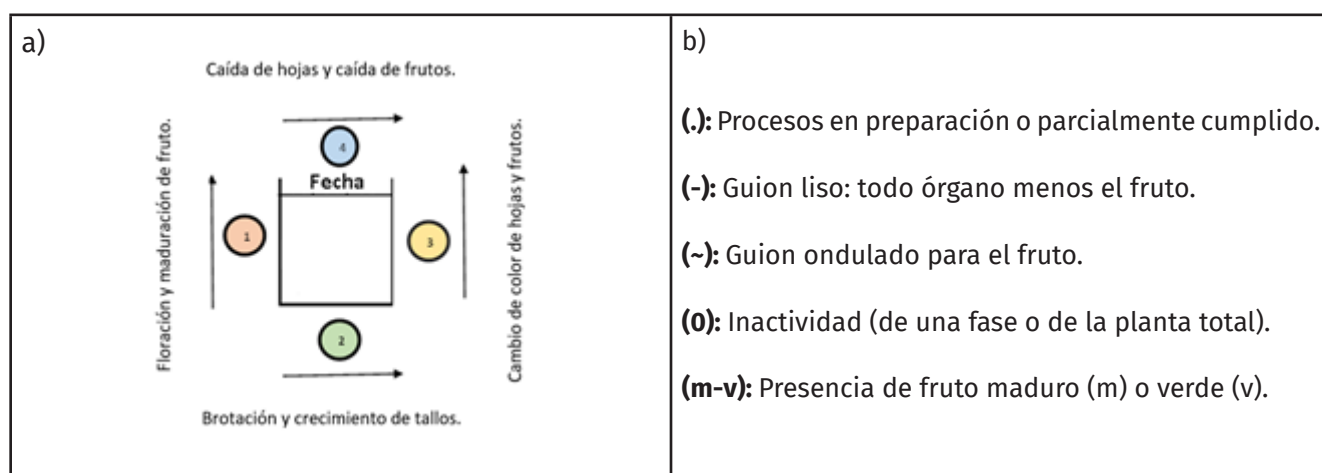


Figura 2: Fases Fenológicas del Duraznero según el Manual de Observaciones Fenológicas (03/2017)
(Yzarra & López Ríos, 2017).

Métodos Fenológicos empleados

Se describieron las fases fenológicas desde hinchazón de yemas hasta frutos para los dos cultivares empleando los métodos fitofenológico integral del Ingeniero Ledesma (MFIL), y el del Instituto Federal de Biología de la Oficina Federal de Variedades Vegetales e Industria Química (BBCH). La observación fenológica en plantas perennes se efectúa sobre individuos que, aisladamente, cada uno de ellos representa una repetición. Para considerar los registros fenológicos, es suficiente observar de 3 a 5 árboles de la misma edad del monte frutal (Yzarra & López Ríos, 2017; Murphy & Hurtado, 2016;).

Los registros se anotaron primero en planillas que posteriormente fueron empleadas para el desarrollo de dicho método en cuadros (de 10 a 12 mm de lado) con prolongación en la parte superior para registrar la fecha, en cada lado del mismo está destinado al registro de una fase y la intensidad según el sentido de las flechas (Figura 3.a):



Figuras 3 a y b: Modelo para el registro de las fases fenológicas empleadas en el MFIL.

En cada uno, los distintos órganos se representan por signos convencionales (Figura 3.b). La intensidad de los procesos observados se cuantifica por el número de signos utilizados en el registro; la inactividad fenológica de una fase o del comportamiento total del individuo se indica con cero (0), ubicándose en el centro del cuadrado. La máxima intensidad de actividad del proceso se indica con cinco signos (Ledesma, 1953). Dicho método es aplicable a cualquier especie perenne, pero es específico para forestales (Gastaudo, 2017; Murphy & Hurtado, 2016; Ledesma, 1953). Para *Prunus pérsica*, no se encontró bibliografía que cite el uso de MFIL y con el propósito de utilizar el potencial de este método de registro de la intensidad de los procesos observados, se consideraron los criterios descriptos en Murphy & Hurtado (2016).

El método BBCH, surge del objetivo de homogeneizar distintos métodos de observación y registro fenológico, basados en códigos numéricos, que habitualmente eran empleados en cereales (Porras *et al.*, 2009). Consiste en dividir en diez fases principales el ciclo completo de la planta, asignando una numeración del 0 al 9 a cada fase en orden ascendente (Martínez, 2012; Lujan & Castellana, 2012). La intensidad de las fases se describe asignando una numeración donde (0) representa la menor intensidad y (9) la mayor, anotándose en el lado derecho del registro (por ejemplo: "01" el 0 indica la fase principal "yema" y el 1 "indica "el inicio de la yema hinchada") (Tabla 1).

Tabla 1: Estadios fenológicos según escala BBCH. (Fuente: Martínez, 2012; Lujan & Castellana, 2012)

0	Desarrollo yemas vegetativas	6	Floración
00	Yemas en reposo invernal	60	Primeras flores abiertas
01	Inicio hinchamiento de las yemas	61	10% de las flores abiertas
05	Final hinchamiento de las yemas	65	Plena floración (50% de las flores abiertas)
07	Ruptura de la yema	67	Caida masiva de pétalos. Las flores se marchitan
09	Asono de los primordios foliares	69	Final de la floración: han caído todos los pétalos
1	Desarrollo de las hojas	7	Desarrollo del fruto
10	Aparición y separación de las primeras hojas	70	Primeros frutos visibles
11	Crecimiento de las primeras hojas	71	Inicio de caída de frutos jóvenes
15	1 ^{ra} hojas todas visibles, sin alcanzar tamaño final	72	Fruto rodeado por los sépalos a modo de corona
19	Las hojas alcanzan su tamaño final	73	Inicio de caída fisiológica de frutos
3	Crecimiento de los brotes	75	El fruto alcanza el 50% del tamaño final
31	Empieza a crecer el brote: se hace visible el tallo	8	Maduración del fruto
32	Los brotes alcanzan el 20% del crecimiento final	80	El fruto comienza a colorear
35	Los brotes alcanzan el 50% del crecimiento final	85	Maduración y coloración
39	Los brotes alcanzan el 90% del crecimiento final	89	Fruto maduro, apto consumo. Comienza abscisión
5	Desarrollo de las flores	9	Senescencia y comienzo del reposo
51	Hinchamiento yemas florales. Escamas visibles	93	Las hojas empiezan a amarillear o a caer
53	Las yemas revientan. Primordios florales visibles	95	50% de las hojas amarillas o caídas
56	Botón rosa		
59	Se ven los pétalos	97	Reposo invernal

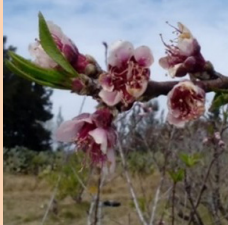
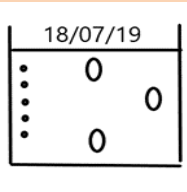
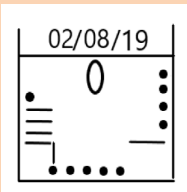
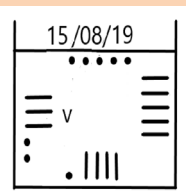
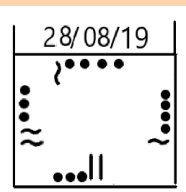
Criterio utilizado para aplicar los métodos fenológicos

Se realizaron 15 visitas al campo experimental Dr. Emilio Navea de la Facultad de Ciencias Agrarias, para registrar las observaciones entre el 18/07/19 y 24/10/19. De acuerdo a lo mencionado por Yzarra & López Ríos (2017) y Murphy & Hurtado (2016), se consideraron 4 ejemplares de duraznero al azar, de un total de 7 (Figura 1). Para tener un criterio de los métodos a comparar, se calculó el porcentaje de la intensidad registrada en las observaciones fenológicas de los individuos seleccionados. A la fase inactiva se le asignó valores menores al 20%, el comienzo de fase entre el 20% y 50%; en plenitud 50% a 80% y fin de fase con valores mayores o iguales al 80%. Las intensidades intermedias quedaron a criterio del observador. Además, en cada visita se tomaron fotografías de las diferentes fases fenológicas que manifestaban los árboles, para obtener un registro más representativo posible. Se utilizó un celular marca (LG), modelo K4, con cámara trasera de 5 megapíxeles.

RESULTADOS

Las Tablas 2 y 3 muestran los registros fenológicos semanales para los métodos aplicados en cada cultivar. El método BBCH además de contemplar el desarrollo de las flores, identifica el crecimiento y expansión de las hojas. MFIL brinda información completa de la fase observada, intensidad y los procesos fisiológicos que están ocurriendo como cambio de color o caída de algún órgano, como en la semana 3 para la variedad *Flordaking* (2/08/19). BBCH contempla la floración en porcentajes: "64" que significa: 6, floración y 4 corresponde al 40% de floración. El crecimiento y desarrollo de las hojas corresponden al número 1. De este modo, la primera décima corresponde a primeras hojas separadas, y/u hojas que comienzan a emerger (10 %). Por su parte MFIL, identifica la intensidad y avance de las etapas fenológicas que ocurren: floración, brotación, cambio de color de hojas e inactividad en caída de órganos foliares: "próximo a plenitud de fase floración", "primero órganos aislados en brotación de hojas" y "comienzo de cambio de color de hojas. La comparación de los registros fenológicos de las dos variedades permite identificar fechas de floración distintas, para *Flor* Murphy & Hurtado, 2016 *Flordaking* inicio en la semana 2 (25/07/19) (Tabla 2) y *Early grande* inicio en la semana 1 (18/10/19) (Tabla 3).

Tabla 2: Registros fenológicos semanales con los dos 2 métodos aplicados a *Prunus pérsica* cv. *Flordaking*

Semanas	1	3	5	7
Métodos				
IMÁGENES DE LA VARIEDAD Flordaking				
BBCH	"01" 0: Desarrollo de Yemas Vegetativas 01: Comienzo del hinchado de las yemas, escamas de color marrón claro.	"64/10" 6: Floración "64": 40% de las flores están abiertas. "10" Primeras hojas se separan, hojas comienzan a emerger.	"16/66" 1: Desarrollo de las hojas: 16: Hojas continúan desplegándose. Aproximadamente un 60% de su tamaño final. 6: Floración 66: Próximo a marchitez y caída de pétalos.	"18/69" 1: Desarrollo de las hojas: 18: Hojas en un 90% de su desarrollo de varietal 6: Floración 69: Final de la floración han caído todos los pétalos. 7: Desarrollo de frutos 72: El ovario verde, rodeado de las coronas de pétalos que mueren y los sépalos comienza a caer. Primer Caída de Frutos
MFIL	 1) órganos en preparación de fase floración. 2) Inactividad en Brotación de hojas. 3) Inactividad en cambios de color de hojas. 4) Inactividad en caída de hojas y frutos.	 1) Próximo a plenitud de floración. 2) Primeros órganos aislados en brotación de hojas. 3) comienzo de cambio de color de hojas. 4) Inactividad en caída de hojas y frutos.	 1) Va hacia fin de fase de floración, en presencia de frutos verdes. 2) Paso plenitud de fase brotación. 3) Plenitud de cambio de color de hojas. 4) Órganos preparatorios en fase de caída de frutos.	 1) Paso comienzo de fase fructificación. 2) Próximo a fin de brotación de hojas. 3) continúa en comienzo coloración de frutos 4) continúa en fase de comienzo caída de frutos.

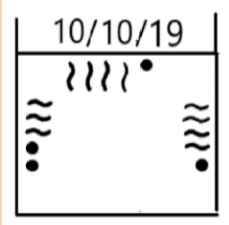
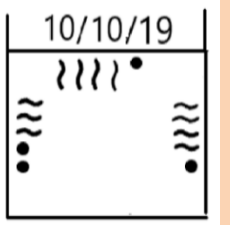
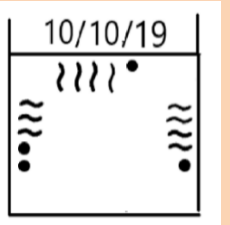
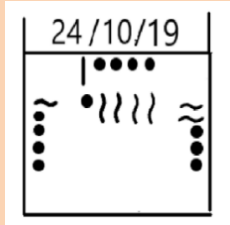
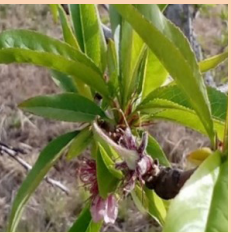
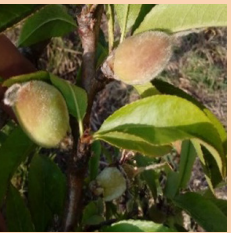
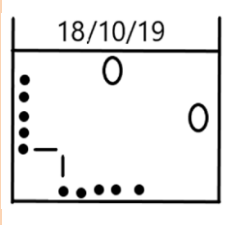
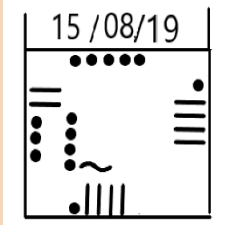
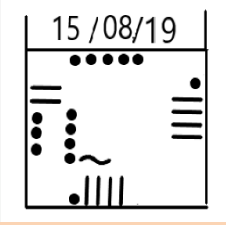
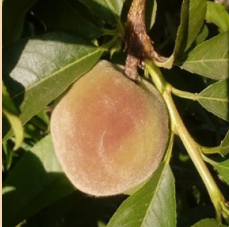
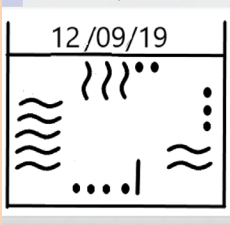
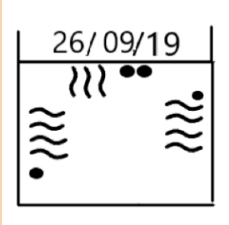
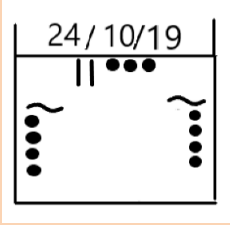
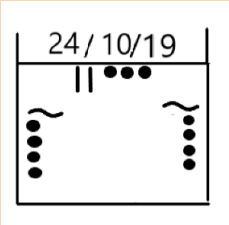
Semanas	9	11	13	15
Métodos				
IMÁGENES DE LA VARIEDAD <i>Flordaking</i>				
BBCH	"74/80" 7: Desarrollo de frutos 74: Próximo al 40% de su tamaño final 8: Maduración de Frutos: 80: El fruto comienza a colorear.	"76/83" 7: Desarrollo de Fruto 76: El fruto paso el 60% de su tamaño final. 8: Maduración del Fruto. 83: : continua madurando y tomando color	"79/85" 7: Desarrollo de Fruto 79: El fruto ha alcanzado el 90% de su tamaño final. 8: Maduración del Fruto. 85: paso el 50% de su coloración final.	"87" 8: Maduración del Fruto. 87: Madurez de recolección los frutos están próximos al sabor y firmeza típicos del varietal.
MFIL	 1) Próximo a plenitud de fase maduración de frutos y en presencia de frutos maduros. 2) 3) Va hacia plenitud de cambio color de frutos. 4) Continúa en fase de paso comienzo de caída de frutos.	 1) Continua en plenitud de fructificación. 2) 3) Sigue yendo hacia plenitud de cambio de color de frutos. 4) Sigue yendo hacia plenitud de caída de frutos.	 1) Va hacia fin de fase de fructificación. 2) 3) Paso plenitud de cambio de color en frutos 4) Próximo a caída fase de caída de frutos	 1) Fin de fase de maduración de frutos. 2) 3) próximo a fin de cambio de color del fruto. 4) Comienzo de caída de hojas, Paso plenitud de caída de frutos.

Tabla 3: Registros fenológicos semanales con los dos métodos aplicados a *Prunus pérsica* cv. *Early grande*

Semanas Métodos	1	3	5	7
IMÁGENES DE LA VARIEDAD <i>Early grande</i>				
BBCH	"0 -5" 0: Desarrollo de yemas Vegetativas "0 -5": Inicio de Hinchamiento de las yemas vegetativas. Las yemas encerradas empiezan a tomar una coloración verde claro.	"15/65" 1: Desarrollo de Hojas "1-5": Paso Comienzo de desplegar Hojas. 6: Floración: "6-5": Plena Floración (50% de las flores abiertas).	"19/69/70" 1: Desarrollo de Hojas: 19: Tamaño varietal típico alcanzado por las primeras hojas. 6: Floración: 69: Final de Floración han caído todos los pétalos. 7: Desarrollo de frutos: 70: Primeros frutos visibles.	"73" 7: Desarrollo de Fruto 73: Segunda Caída de Frutos.
MFIL	 1) Primeros órganos en fase de floración. 2) Primeros órganos en fase de brotación de hojas 3) Inactividad en cambios de color de hojas 4) Inactividad en fase de caída de hojas.	 1) Plenitud de fase de floración. 2) Próximo a plenitud de brotación de hojas. 3) Paso comienzo de fase de cambio de color de hojas. 4) Inactividad en caída de hojas	 1) Próximo a fin de fase de floración, continua en fase de primeros órganos aislados en fructificación. 2) Paso Plenitud de brotación de hojas. 3) Próximo a plenitud en cambio de color de hojas. 4) Órganos en preparación de caída de hojas y frutos.	 1) Paso comienzo de fructificación. 2) Próximo a fin de brotación de hojas. 3) Comienzo de fase de cambio de color de frutos. 4) Comenzó fase de caída de frutos.

Semanas	9	11	13	15
Métodos				
IMÁGENES DE LA VARIEDAD <i>Early grandy</i>				
BBCH	"75/82" 7: Desarrollo de Fruto 75: El fruto alcanzo el 50% del tamaño final. 8: Maduración del Fruto 82: Paso Comienzo maduración y paso comienzo de coloración	"77/85" 7: Desarrollo de Fruto 77: El fruto presenta un 70% del tamaño varietal final. 8: Maduración del Fruto. 85: Aumento de la coloración.	"87" 8: Maduración del Fruto. 87: Tiene más de un 60 % de coloración final.	"89" 8: Maduración del Fruto. 89: Características próximas al sabor y firmeza del varietal. Comienza abscisión.
MFIL	 1) Plenitud de fructificación. 2) Fin de fase de brotación de hojas. 3) Paso comienzo de cambio de coloración de frutos. 4) Va hacia plenitud de caída de frutos maduros.	 1) Paso plenitud de fructificación. 2) 3) próximo a plenitud de cambio de color de frutos. 4) Sigue yendo hacia plenitud de caída de frutos.	 1) Va hacia fin de fase fructificación. 2) 3) Paso plenitud de cambio de color de frutos. 4) Comienzo de fase de caída de hojas, próximo a fin de fase de caída de frutos.	 1) Fin de la fase fructificación 2) 3) Fin de fase de cambio de color de fruto. 4) Paso comienzo de fase caída de hojas.

DISCUSIÓN

La comparación de los dos métodos permitió generar información empírica para establecer los criterios para su implementación y de esta manera recomendar el método a emplear por un productor

y/o un investigador (Lujan & Castellana, 2012).

BBCH permite registrar la fenología puntual de una determinada fase (Porras *et al.*, 2009). Su registro requiere pocos elementos y permitirá comparar la fenología en otros sitios, no solo en los valles templados de Jujuy ya que permite ampliar la investigación, porque el método es considerado estándar por la OMM (Lujan & Castellana, 2012). MFIL se ajustó adecuadamente al cultivo del duraznero, por lo que este trabajo aporta información acerca de la versatilidad del método en especies criófilas. Para este cultivo, MFIL permitió registrar más información que BBCH. Este resultado concuerda con Pascale & Damario, (2016), quienes aplicaron MFIL en *Aesculus hippocastanum* en los años 1946/7 y obtuvieron registros fenológicos más detallados. Además, este método requiere comprender y analizar el porcentaje de desarrollo de la etapa, memorizar símbolos y proceso de registro, sin embargo, si el objetivo del registro de las etapas fenológicas es determinar el desarrollo fisiológico, productivo o bien el momento específico de aparición de plagas o enfermedades junto con BBCH brindan prácticamente una foto instantánea del momento en el que se está realizando la investigación.

CONCLUSIONES

La comparación de los dos métodos fenológicos ha mostrado diferencias en la determinación de las fases del duraznero. Cada método tiene ventajas y limitaciones según la variedad de frutal.

El método BBCH es sencillo, usando letras y números, mientras que el MFIL requiere mayor conocimiento de símbolos y procesos fisiológicos.

Ambos ofrecen un panorama general de la planta y detalle del órgano más desarrollado, no obstante, depende del observador y su experiencia en campo.

El MFIL permite registrar varias observaciones simultáneas, como floración, brotación, fructificación, presencia frutos, cambio de color foliar y de frutos, caída de hojas y frutos, lo que no ocurre con otros métodos. Además, es clave definir los objetivos al registrar los cambios observados.

BIBLIOGRAFÍA

- Cragnolini, C. I.; Novo, R. J.; March, G. J.; Conles, M. Y.; y Balzarini, M. (2005). Momentos de aplicación y eficiencia de fungicidas en el control de la sarna del duraznero. *Agriscientia*, 22(2), 37-45. Recuperado de: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/agris/article/view/2678/1909>.
- Curzel, V. (2020). *Producción de duraznos y nectarinas en los valles templados de Jujuy*. Experticia Rev Fac Cienc Agrar Univ Nac Cuyo [Internet], 11, (3). Recuperado de: https://experticia.fca.uncu.edu.ar/images/pdfs/201708/Producción_de_duraznos_y_nectarinas_en_los_valles_templados_de_jujuy.pdf.
- Curzel, V.; y Achem, V. (2019). *Boletín de Fruticultura N°9: Variedades de Frutales de Carozo para los Valles Templados de Jujuy. 1era Parte: Durazneros y Nectarinas Extra tempranas y Tempranas*. Recuperado de: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2730-50662021000201303.
- Curzel, V.; y Paredes, M. (2021). *Caracterización del sector frutícola en los Valles Templados de Jujuy, Argentina: Caracterización del sector*. Fruit growing activity in the Template Valleys of Jujuy, pp. 7. Recuperado de: <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agr/v25nnspe1/2730-5066-agr-25-nspe1-e398.pdf>.
- García, M., Micheloud, N.; Leva, P.; Tóffoli, G.; Gariglio, N.; y Pilatti, R. (2013). *Efecto de las heladas tardías en la producción de durazneros precoces cultivados en la región central de la provincia de Santa Fe (Argentina)*. Fave. Sección ciencias agrarias, 12(2), pp. 75-84. Recuperado de: <https://www.scielo.org>.

ar/scielo.php?pid=S166677192013000200006&script=sci_arttext&tlng=en.

- Gastaudo, J. (2017). *Fenología de dos especies arbóreas nativas implantadas en el Parque Villarino* (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias Agrarias-UNR, Argentina. pp. 79. Recuperado de: <https://rehip.unr.edu.ar/server/api/core/bitstreams/acf7920d-189e-4f95-a2ee-aceb50277ee1/content>
- Lambaré, D. A., Pochettino, M. L. (2012). Diversidad local y prácticas agrícolas asociadas al cultivo tradicional de duraznos: *Prunus persica* (Rosaceae), en el Noroeste de Argentina. *Darwiniana*, nueva serie, 50(2), pp.174-186., Recuperado de: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S001167932012000200001&lng=es&tlng=es.
- Ledesma, N. R. (1953) Registro Fitofenológico Integral. *Meteoros*, (3). Pp. 82-96.
- Lujan, M. y Castellana, J. (2012). *Las observaciones fenológicas como evidencia del cambio climático*. Fundación (CONAMA), Congreso Nacional del Medio Ambiente. Asociación de Ecología del Paisaje y Seguimiento Ambiental (ECOPAS), Madrid España, (CONAMA2012), pp 25. Recuperado de: <http://www.conama2012.conama.org/conama10/download/files/conama11/CT%202010/1896700073.pdf>.
- Martínez, J. C., (2012). Bases de la producción vegetal. Fenología de Árboles Frutales Universidad de Cartagena. ETSIA. Recuperado de: <https://georgiusm.com/wp-content/uploads/2017/12/tema-6-fenolog3ada-de-los-cultivos.pdf>.
- Murphy M. & Hurtado, R. (2016). *Agrometeorología*. Lugar: Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Pascale, A. & Damario, E. (2016). Observaciones Fenológicas. Editores: Murphy G. & Hurtado, R. *Agrometeorología*. Edición 2^{da}. pp 207-223. Lugar de publicación: Facultad Agronomía. Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Porras, I., Conesa, A.; Legua, P.; y Pérez-T. (2009). Comparación de las diversas escalas fenológicas del limón durante el periodo de floración y cuajado. In *XII Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas. Logroño* (pp. 25-29). Recuperado de: <https://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2054.%20VI%20Congreso%20Ib%C3%A9rico%20de%20Ciencias%20Hort%C3%ADcolas.%20XII%20Congreso%20Nacional%20de%20Ciencias%20Hort%C3%ADcolas/Comunicaciones/Comparaci%C3%B3n%20de%20las%20diversas%20escalas%20fenol%C3%B3gicas%20del%20lim%C3%B3n%20durante%20el%20periodo%20de%20floraci%C3%B3n%20y%20cuajado.pdf>.
- Radice, S., Dessy, S. (2008). Nuevas formas de cultivo del duraznero en la zona de Chascomús con empleo de diferentes portainjertos (No. 634.25). Impresiones Buenos Aires, San Pedro Buenos Aires. Argentina. pp. 297.
- Yzarra T. W. J., y López Ríos, F. M. (2017). Manual de observaciones fenológicas. Servicio Nacional de Meteorología. "Senamhi" y Ministerio de Agricultura. Perú. Recuperado de: <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/272>.

TRABAJO

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE ESTIMACIONES SATELITALES Y TERRESTRES DE PRECIPITACIÓN EN EL NOROESTE ARGENTINO

COMPARATIVE EVALUATION OF SATELLITE AND GROUND-BASED PRECIPITATION ESTIMATES IN NORTHWESTERN ARGENTINA

Moreno, C.^{1,2*}, Rivera Funes, M.¹, Valdiviezo Corte, M.¹, Hurtado, R.¹, Alabar, F.¹, Serio, L.³ y Vilca Ochoa, S.¹

¹ Cátedra de Agroclimatología. Facultad de Ciencias Agrarias. UNJu

² Cátedra de Climatología. sede Humahuaca-Abra Pampa. UNJu

³ Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. FAUBA

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

Período de Publicación:
Diciembre 2025

Historial:
Recibido: 29-08-25
Aceptado: 27-11-25

RESUMEN

La región del Noroeste Argentino (NOA) presenta una fuerte heterogeneidad topográfica y climática, junto con una baja densidad de estaciones meteorológicas, lo que limita la representación precisa de la distribución y el volumen de las precipitaciones. El objetivo de este trabajo es comparar el desempeño de distintos productos satelitales para identificar cuáles reproducen con mayor precisión las series de precipitación observadas y pueden complementar la escasez de información en superficie. Se evaluaron cinco indicadores estadísticos (CC, RMSE, NSE, MAE y PBIAS) utilizando series mensuales superiores a 30 años de diez estaciones meteorológicas y cinco productos satelitales y de reanálisis: GPM, JMA, MERRA-2, CHIRPS y CRUTEM 4.04, con resolución espacial de $0.06^\circ \times 0.1^\circ$. El análisis se realizó con INFOSAT. Los resultados muestran que CHIRPS, JMA y CRUTEM 4.04 no presentan diferencias significativas y constituyen el conjunto de mejor desempeño en términos de precisión y confiabilidad para la estimación de precipitación en el NOA.

Palabras clave: estación meteorológica, NOA, satélites

SUMMARY

The Northwestern Argentina (NOA) region presents a strong topographic and climatic heterogeneity, along with a low density of meteorological stations, which limits the accurate representation of precipitation distribution and volume. The objective of this study is to compare the performance of different satellite products to identify which ones most accurately reproduce observed precipitation series and can therefore complement the scarcity of surface information. Five statistical indicators were evaluated (CC, RMSE, NSE, MAE, and PBIAS) using monthly series spanning more than 30 years from ten meteorological stations and five satellite and reanalysis products:

GPM, JMA, MERRA-2, CHIRPS, and CRUTEM 4.04, all with a spatial resolution of $0.06^\circ \times 0.1^\circ$. The analysis was conducted using INFOSAT. Results show that CHIRPS, JMA, and CRUTEM 4.04 do not exhibit significant differences and constitute the best performing set in terms of accuracy and reliability for precipitation estimation in the NOA region.

Keywords: NOA, satellites, weather station

INTRODUCCIÓN

La precipitación es un componente esencial del ciclo hidrológico, responsable de la mayor parte del aporte de agua dulce al sistema terrestre (Calderón Sánchez & Mendoza Briones, 2024) y determinante en la configuración de condiciones adecuadas para la vida (Castillo Acosta & Leines Medécigo, 2023). Su variabilidad espacial y temporal influye de manera directa en la climatología regional, en la producción agrícola y en la gestión de eventos extremos como inundaciones y sequías (Gavilán *et al.*, 2019). Debido a su relevancia, contar con información precisa y continua de precipitación resulta fundamental para el análisis climático y la toma de decisiones en sectores sensibles.

Tradicionalmente, las estimaciones de precipitación se han basado en estaciones meteorológicas y pluviómetros superficiales, complementados con métodos de interpolación para cubrir áreas sin observaciones directas (Garay, 2021). Sin embargo, en regiones de topografía compleja como zonas montañosas o provincias andinas este enfoque presenta limitaciones debido a la accesibilidad, la distribución espacial irregular de los instrumentos, la reducción del área representada por cada estación y los altos costos de operación (Farooq Iqbal *et al.*, 2018; Feidas, 2010; Zambrano-Bigiarini *et al.*, 2017). Adicionalmente, las series de datos suelen exhibir discontinuidades, valores faltantes y errores instrumentales u operativos (Salvó, Baldassini & Di Bella, 2021), lo que restringe su uso como única fuente de referencia para el análisis de la precipitación (Hurtado *et al.*, 2021). Estas limitaciones han impulsado el desarrollo y adopción de fuentes alternativas de información, entre ellas los productos de reanálisis, los sensores satelitales y los productos derivados de ellos.

En la literatura especializada se establece una distinción conceptual importante entre sensor, satélite, producto satelital y reanálisis. Un sensor es el instrumento físico, ya sea activo o pasivo, que mide radiancias, retrodispersión u otras magnitudes físicas desde el espacio o la superficie, cuyo funcionamiento y restricciones se describen ampliamente en revisiones técnicas sobre teledetección (Roy *et al.*, 2017). Un satélite constituye la plataforma que porta uno o más sensores, y su órbita determina la frecuencia y cobertura de muestreo. Por su parte, un producto satelital es el resultado procesado de estas mediciones mediante algoritmos que convierten la señal detectada en estimaciones geofísicas, como precipitación (Kidd & Levizzani, 2011; Hou *et al.*, 2014). En cambio, un reanálisis combina observaciones de múltiples fuentes incluidas mediciones satelitales, datos de superficie y modelizaciones numéricas dentro de un sistema de asimilación para generar campos continuos, homogéneos y físicamente consistentes en el tiempo (ERA5; Hersbach *et al.*, 2020). Aunque algunos productos satelitales ofrecen actualizaciones con alta frecuencia temporal, esta característica no depende del satélite como entidad, sino del sensor específico y del algoritmo que procesa sus datos (Salvó, Baldassini & Di Bella, 2021), lo que exige evitar generalizaciones.

Las estimaciones satelitales de precipitación no constituyen una observación directa del fenómeno; la relación entre la señal medida y la ocurrencia o intensidad de la lluvia es indirecta y depende de múltiples variables atmosféricas y físicas (Toté *et al.*, 2015). Como consecuencia, los productos pueden subestimar o sobrestimar eventos extremos, y su desempeño varía en función de la topografía, la estacionalidad y las condiciones regionales (Joyce *et al.*, 2004; Kidd *et al.*, 2003; Liu, 2016). En este contexto, la validación

estadística de las series entendida como la comparación entre las estimaciones y observaciones consideradas de referencia representa un proceso fundamental para evaluar su calidad. Este proceso permite cuantificar el ajuste mediante indicadores como correlación, RMSE, NSE, MAE y PBIAS (Toté *et al.*, 2015; Lujano, Obando & Lujano & Quispe Aragón, 2015). En el presente estudio, esta validación se limita al análisis temporal y no incluye evaluaciones espaciales, delimitando así el alcance metodológico.

El Noroeste Argentino (NOA) se caracteriza por una notable heterogeneidad topográfica y climática, sumada a una escasa densidad de estaciones meteorológicas, lo cual dificulta representar adecuadamente la variabilidad regional de la precipitación. Por este motivo, los productos satelitales han adquirido relevancia como alternativa para la caracterización hidroclimática. Alabar *et al.*, (2021) documentaron un buen desempeño de la misión GPM para Jujuy y Salta entre 2000 y 2019 (Hou *et al.*, 2014), aunque con limitaciones de actualización en años posteriores, lo que motivó la exploración de otros productos como CHIRPS, JMA y CRUTEM 4.04. Sin embargo, las estimaciones satelitales no siempre incorporan de forma explícita los fuertes gradientes altitudinales del NOA (Joyce *et al.*, 2004; Kidd *et al.*, 2003; Liu, 2016), y su desempeño puede verse afectado por la marcada estacionalidad de las precipitaciones (Hurtado *et al.*, 2008, citado en Alabar *et al.*, 2021).

En este marco, el objetivo del presente trabajo es comparar y validar el desempeño temporal de las series de precipitación semestrales y anuales del período 2000–2023 provenientes de los productos CHIRPS, GPM, JMA, MERRA-2 y CRUTEM 4.04 mediante cinco indicadores estadísticos: correlación (CC), RMSE, NSE, MAE y PBIAS. Para ello, se utilizan como referencia las mediciones registradas en las estaciones meteorológicas de superficie disponibles en el NOA. Como señalan Lujano, Obando & Lujano & Quispe Aragón (2015), valores cercanos a cero en los indicadores de error reflejan un mayor grado de ajuste en la estimación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estableció como área de estudio la región del Noroeste Argentino (NOA) integrada por las provincias de Jujuy, Salta, Tucumán, Catamarca y Santiago del Estero, con régimen estival o monzónico de precipitación imperante en la región, más del 80% de la precipitación ocurre en el semestre cálido (Murphy & Hurtado, 2011). Se utilizaron datos de precipitación mensual (mm/mes), del periodo 1987-2023 (36 años) de 10 estaciones meteorológicas pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y una en convenio con la Universidad Nacional de Jujuy (Figura 1, Tabla 1).

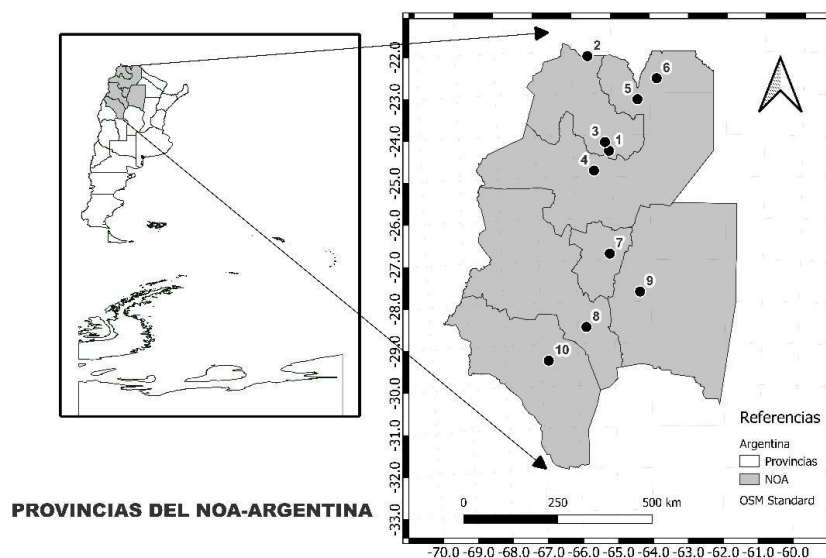


Figura 1: Ubicación del área de estudio, provincias pertenecientes al Noroeste Argentino (NOA).

Tabla 1: información de estaciones meteorológicas en estudio

ID	Nombre de la estación	Provincia	Lat	Long	Altitud (m snm)
1	Jujuy AERO	Jujuy	-24.38	-65.08	905
2	La Quiaca Obs	Jujuy	-22.1	-65.6	3459
3	Jujuy Universidad	Jujuy	-24.17	-65.18	1302
4	Salta AERO	Salta	-24.85	-65.48	1221
5	Orán AERO	Salta	-23.15	-64.32	357
6	Tartagal AERO	Salta	-22.65	-63.82	450
7	Tucumán AERO	Tucumán	-26.85	-65.1	450
8	Catamarca AERO	Catamarca	-28.6	-65.77	454
9	Santiago del Estero AERO	S. del Estero	-27.77	-64.3	199
10	La Rioja AERO	La Rioja	-29.38	-66.82	429

Para el análisis de las precipitaciones se construyeron series anuales/ semestrales a partir de las mensuales descargadas. Para el semestre se consideró el cálido (SC: octubre a marzo) y frío (SF: abril a septiembre).

A continuación, se detallan las fuentes de información utilizadas:

Medición de Precipitación Global (GPM), que tiene una resolución temporal mensual a través del algoritmo 3IMERGM v06 y una resolución espacial horizontal de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$. Global. Los datos de GPM se obtuvieron de Giovanni Nasa (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>), es una herramienta web desarrollada por GES DISC (el "Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center" de la NASA). Está diseñado para permitir el acceso, la visualización y el análisis de grandes volúmenes de datos de ciencias de la Tierra obtenidos por sensores remotos, demás, satélites, modelos, etc.

La Agencia Meteorológica de Japón o JMA (www.data.jma.go.jp) por sus siglas en inglés, es el servicio meteorológico encargado de obtener y reportar datos sobre pronósticos meteorológicos del Gobierno de Japón, con una resolución espacial horizontal de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. Esta fuente de datos proporciona la información meteorológica de todas las estaciones miembro de la Organización Meteorológica Mundial.

Satélite Merra2, proveniente de la plataforma de Giovanni en archivos (*.csv). con una resolución temporal mensual y una espacial de $0,5^\circ \times 0,625^\circ$. Los datos se obtuvieron de Giovanni (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>).

CHIRPS, (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station) es una base de datos de 35 años, estima la distribución de la lluvia a partir de la radiación en el espectro infrarrojo. Con una resolución espacial de 0.05° de grado (~ 5 km). La estimación de la precipitación de CHIRPS no está ligada únicamente a estaciones meteorológicas, sino que combina estaciones meteorológicas junto a estimaciones de precipitación basadas en satélites de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) y la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA). Con esta fusión de recursos se evita el sesgo que sufren las estimaciones de los pluviómetros en zonas rurales (por escasez de estaciones) y las obtenidas de datos satélites. Los datos de CHIRPS se desarrollaron con el objetivo principal de apoyar la

lucha contra la sequía. Monitoreo y pronóstico y otras actividades de modelado de la superficie terrestre (Funk et al. 2015).

CRUTEM vs. 4.04. La información utilizada son campos cuadriculados basados en datos observados mensuales, estimados a partir de información diaria por los Servicios Meteorológicos Nacionales en su mayoría. Incluyen valores medios mensuales para los distintos parámetros, del período 1901-2019, proporcionados en cuadrículas de alta resolución ($0,5^\circ \times 0,5^\circ$). Se obtiene mediante la interpolación de datos de extensas redes de observaciones de estaciones meteorológicas (Harris, Jones & Osborn, 2020).

Para el análisis estadístico se usó el software InfoStat versión 2017, para realizar una comparación de medias de los datos de información pertenecientes a las estaciones de superficie y a los datos provenientes de las fuentes de información en estudio.

Validación de datos meteorológicos

Para evaluar el rendimiento de los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas de superficie con las fuentes de información, se utilizaron cinco indicadores de desempeño (Tabla 2), siendo consistente con los hallazgos de Ayehu, Tadesse, Gessesse & Dinku (2018).

Tabla 2: indicadores de rendimiento para evaluar la precipitación de las estaciones de superficie vs. Información satelital

INDICADOR	VALOR IDEAL	CONFIABILIDAD
Coefficientes de correlación de Pearson (CC)	1	confiable
Raíz del error cuadrático medio (RMSE)	0	confiable y preciso
Coefficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE)	1	confiable y preciso
Error absoluto medio (MAE)	0	confiable
El sesgo relativo (PBIAS)	Valor óptimo cerca de cero (%)	confiable

Por otra parte, Roque Quiroz (2023), considera indicadores como Coeficiente de Determinación (R), Índice de eficiencia de Nash - Sutcliffe (NSE) y Sesgo Estadístico Porcentual (PBIAS%), quien a nivel mensual obtuvo buenos resultados, confiables y precisos. La raíz del error cuadrático medio o RMSE por sus siglas en inglés es aplicado por Hyndman & Koehler (2006) y Bergmeir & Benítez (2012) y usado por Wu, Zhu, Cao & Tu (2008), Liu, Tian, Chen & Li (2010). Éste índice es el más usado para la validación de modelos de sistemas físicos en la literatura revisada.

A continuación se describen los indicadores utilizados:

1- Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE): se utiliza para cuantificar y evaluar modelos hidrológicos entre sí, considerando dos grupos de datos. Según Nash - Sutcliffe (1970), la eficiencia aumenta con un valor más cercano a 1. La NSE mide la magnitud relativa de la variabilidad de los datos observados comparada con la varianza de los datos de satélite. El valor de los rangos en la NSE varía de $-\infty$ a 1. Siendo el valor 1 el óptimo, los valores entre 0 y 1 son considerados aceptables en el desempeño, mientras que valores ≤ 0 indican un valor insatisfactorio.

Donde:
 n : Número de observaciones.
 S_i : Valor simulado.
 O_i : Valor observado.
 $\bar{O}$: Promedio del valor observado.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

Según Ritter y Muñoz (2013), se cuantifica la eficiencia del modelo simulado con el modelo observado, que se clasifica bajo los siguientes criterios (Tabla 3).

Tabla 3: Valores referenciales del criterio Nash-Sutcliffe. NSE

NSE	AJUSTE
<0,65	Insatisfactorio
0,65 – 0,8	Aceptable
0,8 – 0,9	Bueno
0,9 – 1	Muy bueno

Fuente: (Ritter y Muñoz, 2013).

2- Error absoluto medio (MAE): El MAE es la diferencia promedio entre los datos de precipitación de la estación meteorológica y los datos de precipitación obtenidos de satélites. Un MAE bajo indica que los datos de la estación meteorológica son precisos y confiables. Es el caso del error medio absoluto, MAE con valor óptimo de cero. El MAE ha sido utilizado por Hyndman Koehler (2006), por Gaiser *et al.*, (2010), Karamirad *et al.*, (2013) y Fernández & Fernández, (2021), entre otros.

Donde:
 y_i = valor medido
 $\hat{y}_i$ = el valor estimado y
 n = número de muestras.

$$MAE = (1/n) \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

3- Coeficiente de Correlación de Pearson (CC): evalúa el nivel de relación lineal entre datos de satélite y de pluviómetro, el valor de correlación varía de $-1 \leq CC \leq 1$ donde el valor CC más cercano a 1 muestra una mejor concordancia (Tabla 4) (Barría, 2010).

Donde:
 S_i : Valor simulado.
 O_i : Valor observado.

$$CC = \frac{cov(S_i, O_i)}{\sqrt{var(S_i)} \times \sqrt{var(O_i)}}$$

Tabla 4: Clasificación de nivel de concordancia

CC	AJUSTE
0,2 – 0,3	Muy bajo
0,4 – 0,5	Bajo
0,6 – 0,7	Alto
0,8 – 1	Muy alto

Fuente: (Barría, 2010).

4- Raíz del error medio cuadrado (RMSE): evalúa la magnitud del error de las estimaciones del satélite con las estimaciones del pluviómetro. Los valores pequeños son óptimos y el resultado se expresa en mm. Es el método más utilizado, según se indicara a continuación de la Tabla 2.

Donde:

S_i : Valor simulado.

O_i : Valor observado.

n : Número de estaciones.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}$$

5- Porcentaje de Sesgo (PBIAS): evalúa la tendencia media entre los valores de la precipitación estimada por el satélite (S_i) con los datos observados por el pluviómetro (O_i). El sesgo relativo puede ser positivo o negativo donde el valor óptimo es cero, los valores positivos sobreestiman y los valores negativos subestiman la información del satélite, el resultado se evalúa en porcentajes.

Donde:

S_i : Valor simulado.

O_i : Valor observado.

n : número de estaciones.

$$PBIAS = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n (S_i)}$$

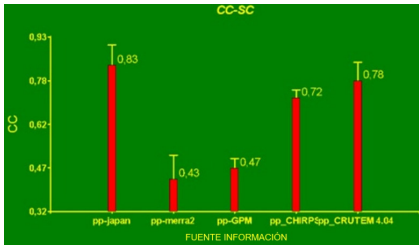
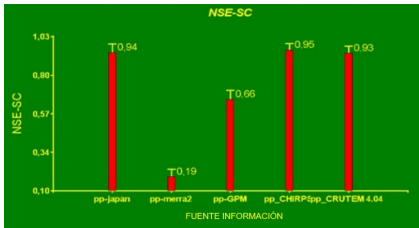
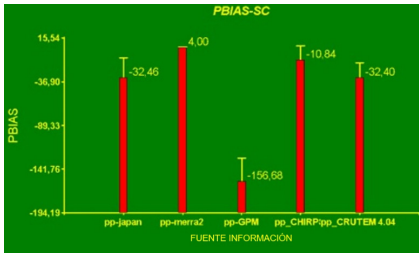
Al aplicar el procedimiento ANOVA (Análisis de Varianza) en el software INFOSTAT versión 2017 para analizar los valores de precipitación mensual registrados entre 1987 y 2023 en diez estaciones meteorológicas del NOA (Jujuy, Salta, Tucumán, Catamarca y Santiago del Estero), el programa calcula si existen diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de precipitación de los distintos grupos definidos, fuentes de información, precipitaciones estimadas por sensores remotos, de los servicios de información aplicados en el estudio, considerando también cada indicador de desempeño, de acuerdo a la temporalidad como la precipitación total, que abarca los meses de enero a diciembre; para el semestre cálido (octubre a marzo) y semestre frío (abril a septiembre). El ANOVA evalúa la variabilidad interna de cada grupo y la compara con la variabilidad entre grupos, determinando mediante el estadístico F (test de Fisher) y su correspondiente valor p, clave para comparar varianzas o medias entre grupos de datos de satélite y de estaciones de superficie, y determinar si las diferencias en las medias entre varios grupos son estadísticamente significativas usando un p-valor < 0.05, para indicar diferencias estadísticamente significativas y un p-valor > 0.05 que indica que no hay evidencia suficiente de diferencias significativas. (Tabla 5).

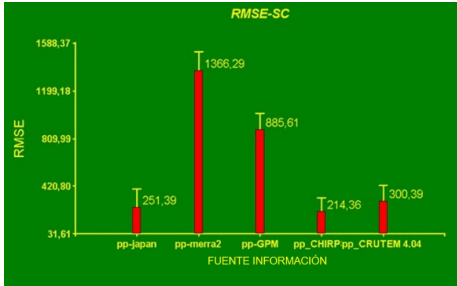
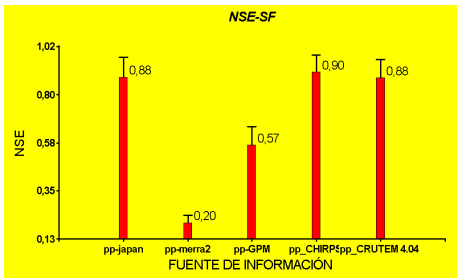
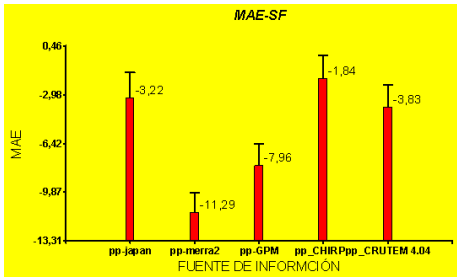
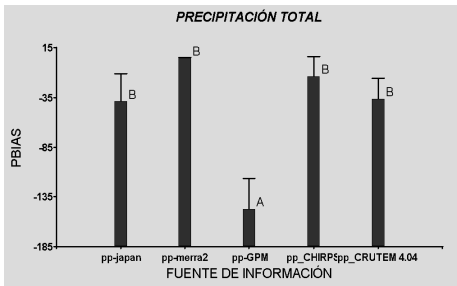
En el contexto de una región con régimen estival o monzónico de precipitaciones, donde más del 80% de la lluvia se concentra en el semestre cálido, este análisis permite identificar si los volúmenes de precipitación mensual difieren de manera significativa entre estaciones, períodos o localidades, contribuyendo a entender la distribución espacial y temporal de la lluvia en el NOA.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Del análisis de varianza (ANOVA) (Tabla 5 y 6), se observa en general, que los algoritmos CHIRPS, CRUTEM 4.04 y JAPAN sobresalieron en la mayoría de los indicadores evaluados, especialmente en NSE y CC, los cuales reflejan tanto la correlación como la semejanza de los datos de satélite respecto a los datos observados en estaciones de superficie. Tuvieron un mejor desempeño estadístico, alcanzando valores de NSE superiores a 0,90 y errores (RMSE y MAE) considerablemente bajos (Tabla 6).

Tabla 5: Análisis de varianza (ANOVA), para comparar medias de precipitaciones estimadas y observadas para cada indicador de desempeño teniendo en cuenta la temporalidad (precipitación total, semestre cálido y semestre frío.)

ESTADÍSTICO: ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)	GRÁFICOS (PERIODO SEMESTRE CÁLIDO (SC), SEMESTRE FRÍO (SF) Y PRECIPITACIÓN TOTAL (PT)).	DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS																														
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,16769 Error: 0,0331 gl: 43 <table><tr><th>FUENTE DE INFO</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>0,43</td><td>9</td><td>0,06</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>0,47</td><td>10</td><td>0,06</td><td>A</td></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>0,72</td><td>10</td><td>0,06</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM</td><td>0,78</td><td>10</td><td>0,06</td><td>B</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>0,83</td><td>9</td><td>0,06</td><td>B</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)	FUENTE DE INFO	Medias	n	E.E.		pp-merra2	0,43	9	0,06	A	pp-GPM	0,47	10	0,06	A	pp_CHIRPS	0,72	10	0,06	B	pp_CRUTEM	0,78	10	0,06	B	pp-japan	0,83	9	0,06	B		PARA EL INDICADOR CC-SC: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa (p<0.05). entre las medias de los grupos A correspondiente a los indicadores (GPM= 0.47 Y MERRA 2= 0.43) y B para los indicadores (CHIRPS= 0.72, CRUTEM4.04 =0.78 y JAPAN= 0.83). La media del grupo B fue significativamente mayor que la media del grupo A, no existiendo diferencia significativa entre estos indicadores de desempeño.
FUENTE DE INFO	Medias	n	E.E.																													
pp-merra2	0,43	9	0,06	A																												
pp-GPM	0,47	10	0,06	A																												
pp_CHIRPS	0,72	10	0,06	B																												
pp_CRUTEM	0,78	10	0,06	B																												
pp-japan	0,83	9	0,06	B																												
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,13243 Error: 0,0206 gl: 43 <table><tr><th>FTE. DE INFO.</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>0,19</td><td>9</td><td>0,05</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>0,66</td><td>10</td><td>0,05</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM</td><td>0,93</td><td>10</td><td>0,05</td><td>C</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>0,94</td><td>9</td><td>0,05</td><td>C</td></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>0,95</td><td>10</td><td>0,05</td><td>C</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)	FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.		pp-merra2	0,19	9	0,05	A	pp-GPM	0,66	10	0,05	B	pp_CRUTEM	0,93	10	0,05	C	pp-japan	0,94	9	0,05	C	pp_CHIRPS	0,95	10	0,05	C		PARA EL INDICADOR NSE-SC: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos A, B y C (p<0.05) entre las medias de los grupos A y B correspondiente a los indicadores MERRA 2 y GPM respectivamente y los del grupo C, no habiendo diferencia significativa entre CHIRPS, CRUTEM 4.04 Y JAPAN, obteniendo la mejor performance con valores de 0.93 a 0.95.
FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.																													
pp-merra2	0,19	9	0,05	A																												
pp-GPM	0,66	10	0,05	B																												
pp_CRUTEM	0,93	10	0,05	C																												
pp-japan	0,94	9	0,05	C																												
pp_CHIRPS	0,95	10	0,05	C																												
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=57,58186 Error: 3902,8050 gl: 43 <table><tr><th>FTE. DE INFO.</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>-156,68</td><td>10</td><td>19,76</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>-32,46</td><td>9</td><td>20,82</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM</td><td>-32,40</td><td>10</td><td>19,76</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>-10,84</td><td>10</td><td>19,76</td><td>B</td></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>4,00</td><td>9</td><td>20,82</td><td>B</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)	FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.		pp-GPM	-156,68	10	19,76	A	pp-japan	-32,46	9	20,82	B	pp_CRUTEM	-32,40	10	19,76	B	pp_CHIRPS	-10,84	10	19,76	B	pp-merra2	4,00	9	20,82	B		PARA EL INDICADOR PBIAS-SC: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos A y B (p<0.05) y entre las medias del grupo B correspondiente a los indicadores JAPAN, CRUTEM 4.04, CHIRPS, GPM Y MERRA, no hay diferencia significativa, obtenido los mejores resultados variando de -32.4% a 4%, indicando un mejor desempeño que el grupo A.
FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.																													
pp-GPM	-156,68	10	19,76	A																												
pp-japan	-32,46	9	20,82	B																												
pp_CRUTEM	-32,40	10	19,76	B																												
pp_CHIRPS	-10,84	10	19,76	B																												
pp-merra2	4,00	9	20,82	B																												

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=378,18203 Error: 168347,7101 gl: 43 <table><tr><th>FTE. DE INFO.</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>214,36</td><td>10</td><td>129,75</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>251,39</td><td>9</td><td>136,77</td><td>A</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM</td><td>300,39</td><td>10</td><td>129,75</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>885,61</td><td>10</td><td>129,75</td><td>B</td></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>1366,29</td><td>9</td><td>136,77</td><td>C</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.		pp_CHIRPS	214,36	10	129,75	A	pp-japan	251,39	9	136,77	A	pp_CRUTEM	300,39	10	129,75	A	pp-GPM	885,61	10	129,75	B	pp-merra2	1366,29	9	136,77	C		PARA EL INDICADOR RMSE-SC: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos A, B y C ($p<0.05$), obteniendo la mejor performance y con valores de medias de 214.16 a 300.39, los indicadores del grupo A (CHIRPS, CRUTEM 4.04 Y JAPAN), superiores a MERRA 2 (grupo C) y GPM (grupo B).
FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.																													
pp_CHIRPS	214,36	10	129,75	A																												
pp-japan	251,39	9	136,77	A																												
pp_CRUTEM	300,39	10	129,75	A																												
pp-GPM	885,61	10	129,75	B																												
pp-merra2	1366,29	9	136,77	C																												
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,22085 Error: 0,0587 gl: 44 <table><tr><th>FTE. DE INFO.</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>0,20</td><td>10</td><td>0,08</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>0,57</td><td>10</td><td>0,08</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM 4.0</td><td>0,88</td><td>10</td><td>0,08</td><td>C</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>0,88</td><td>9</td><td>0,08</td><td>C</td></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>0,90</td><td>10</td><td>0,08</td><td>C</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.		pp-merra2	0,20	10	0,08	A	pp-GPM	0,57	10	0,08	B	pp_CRUTEM 4.0	0,88	10	0,08	C	pp-japan	0,88	9	0,08	C	pp_CHIRPS	0,90	10	0,08	C		PARA EL INDICADOR NSE-SF: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos A, B y C ($p<0.05$), obteniendo la mejor performance y con valores de medias de 0.88 a 0.90, los indicadores del grupo C (CHIRPS, CRUTEM 4.04 Y JAPAN), superiores a MERRA 2 (grupo A) y GPM (grupo B).
FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.																													
pp-merra2	0,20	10	0,08	A																												
pp-GPM	0,57	10	0,08	B																												
pp_CRUTEM 4.0	0,88	10	0,08	C																												
pp-japan	0,88	9	0,08	C																												
pp_CHIRPS	0,90	10	0,08	C																												
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=4,54604 Error: 24,8876 gl: 44 <table><tr><th>FTE. DE INFO.</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>-11,29</td><td>10</td><td>1,58</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>-7,96</td><td>10</td><td>1,58</td><td>A B</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM 4.04</td><td>-3,83</td><td>10</td><td>1,58</td><td>B C</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>-3,22</td><td>9</td><td>1,66</td><td>C</td></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>-1,84</td><td>10</td><td>1,58</td><td>C</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.		pp-merra2	-11,29	10	1,58	A	pp-GPM	-7,96	10	1,58	A B	pp_CRUTEM 4.04	-3,83	10	1,58	B C	pp-japan	-3,22	9	1,66	C	pp_CHIRPS	-1,84	10	1,58	C		PARA EL INDICADOR MAE-SF: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos A, B y C ($p<0.05$), obteniendo la mejor performance y con valores de medias de -1.84 A -3.83, los indicadores del grupo C (CHIRPS Y JAPAN), seguida por CRUTEM 4.04 del grupo (B-C), superiores a MERRA 2 (grupo A) y GPM (grupo A-B).
FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.																													
pp-merra2	-11,29	10	1,58	A																												
pp-GPM	-7,96	10	1,58	A B																												
pp_CRUTEM 4.04	-3,83	10	1,58	B C																												
pp-japan	-3,22	9	1,66	C																												
pp_CHIRPS	-1,84	10	1,58	C																												
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=63,63646 Error: 4876,7265 gl: 44 <table><tr><th>FTE. DE INFO.</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>-147,06</td><td>10</td><td>22,08</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>-38,77</td><td>9</td><td>23,28</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM 4.04</td><td>-36,36</td><td>10</td><td>22,08</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>-13,68</td><td>10</td><td>22,08</td><td>B</td></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>4,50</td><td>10</td><td>22,08</td><td>B</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.		pp-GPM	-147,06	10	22,08	A	pp-japan	-38,77	9	23,28	B	pp_CRUTEM 4.04	-36,36	10	22,08	B	pp_CHIRPS	-13,68	10	22,08	B	pp-merra2	4,50	10	22,08	B		PARA EL INDICADOR PBIAS-PT: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos A y B ($p<0.05$) y entre las medias del grupo B correspondiente a los indicadores JAPAN, CRUTEM 4.04, CHIRPS y MERRA 2, no hay diferencia significativa, obtenido los mejores resultados variando de 4.5% a -38.77%, indicando un mejor desempeño que el grupo A (GPM).
FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.																													
pp-GPM	-147,06	10	22,08	A																												
pp-japan	-38,77	9	23,28	B																												
pp_CRUTEM 4.04	-36,36	10	22,08	B																												
pp_CHIRPS	-13,68	10	22,08	B																												
pp-merra2	4,50	10	22,08	B																												

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,12220 Error: 0,0180 gl: 44 <table><tr><th>Grupo.cols</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>0,49</td><td>10</td><td>0,04</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>0,66</td><td>10</td><td>0,04</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM 4.04</td><td>0,66</td><td>10</td><td>0,04</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>0,73</td><td>10</td><td>0,04</td><td>B C</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>0,85</td><td>9</td><td>0,04</td><td>C</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	Grupo.cols	Medias	n	E.E.		pp-GPM	0,49	10	0,04	A	pp-merra2	0,66	10	0,04	B	pp_CRUTEM 4.04	0,66	10	0,04	B	pp_CHIRPS	0,73	10	0,04	B C	pp-japan	0,85	9	0,04	C		PARA EL INDICADOR CC-PT: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa ($p<0.05$). entre las medias de los grupos A, B y C. El mejor desempeño lo obtuvo el indicador JAPAN (grupo C) con un valor de media de 0.85, seguido por CHIRPS (B-C) con un valor de 0.73. siendo superiores al grupo A (GPM= 0.49) y B (MERRA 2 y CRUTEM4.04 con 0.66).
Grupo.cols	Medias	n	E.E.																													
pp-GPM	0,49	10	0,04	A																												
pp-merra2	0,66	10	0,04	B																												
pp_CRUTEM 4.04	0,66	10	0,04	B																												
pp_CHIRPS	0,73	10	0,04	B C																												
pp-japan	0,85	9	0,04	C																												
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=16,01268 Error: 308,7767 gl: 44 <table><tr><th>FUENTE</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>-47,04</td><td>10</td><td>5,56</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>-31,65</td><td>10</td><td>5,56</td><td>A</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM</td><td>-11,74</td><td>10</td><td>5,56</td><td>B</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>-10,31</td><td>9</td><td>5,86</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>-3,44</td><td>10</td><td>5,56</td><td>B</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	FUENTE	Medias	n	E.E.		pp-merra2	-47,04	10	5,56	A	pp-GPM	-31,65	10	5,56	A	pp_CRUTEM	-11,74	10	5,56	B	pp-japan	-10,31	9	5,86	B	pp_CHIRPS	-3,44	10	5,56	B		PARA EL INDICADOR MAE-PT: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos A y B ($p<0.05$). Entre las medias del grupo B correspondiente a los indicadores JAPAN, CRUTEM 4.04 Y CHIRPS, no existe diferencia significativa obteniendo los mejores resultados, variando de -3.44 a -11.74, indicando un mejor desempeño que el grupo A. (GPM Y MERRA2).
FUENTE	Medias	n	E.E.																													
pp-merra2	-47,04	10	5,56	A																												
pp-GPM	-31,65	10	5,56	A																												
pp_CRUTEM	-11,74	10	5,56	B																												
pp-japan	-10,31	9	5,86	B																												
pp_CHIRPS	-3,44	10	5,56	B																												
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=314,52033 Error: 119127,9794 gl: 44 <table><tr><th>FTE. DE INFO.</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>183,75</td><td>10</td><td>109,15</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>236,29</td><td>9</td><td>115,05</td><td>A</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM 4.04</td><td>261,78</td><td>10</td><td>109,15</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>698,64</td><td>10</td><td>109,15</td><td>B</td></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>1125,78</td><td>10</td><td>109,15</td><td>C</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.		pp_CHIRPS	183,75	10	109,15	A	pp-japan	236,29	9	115,05	A	pp_CRUTEM 4.04	261,78	10	109,15	A	pp-GPM	698,64	10	109,15	B	pp-merra2	1125,78	10	109,15	C		PARA EL INDICADOR RMSE-PT: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos A, B y C ($p<0.05$), obteniendo la mejor performance y con valores de medias de 183.75 a 261.78, los indicadores del grupo A, no habiendo diferencias significativas entre estos indicadores (CHIRPS, JAPAN y CRUTEM 4.04), y siendo superiores a MERRA 2 (grupo C) y GPM (grupo B).
FTE. DE INFO.	Medias	n	E.E.																													
pp_CHIRPS	183,75	10	109,15	A																												
pp-japan	236,29	9	115,05	A																												
pp_CRUTEM 4.04	261,78	10	109,15	A																												
pp-GPM	698,64	10	109,15	B																												
pp-merra2	1125,78	10	109,15	C																												
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,13902 Error: 0,0233 gl: 44 <table><tr><th>FUENTE</th><th>Medias</th><th>n</th><th>E.E.</th><th></th></tr><tr><td>pp-merra2</td><td>0,23</td><td>10</td><td>0,05</td><td>A</td></tr><tr><td>pp-GPM</td><td>0,61</td><td>10</td><td>0,05</td><td>B</td></tr><tr><td>pp_CRUTEM</td><td>0,93</td><td>10</td><td>0,05</td><td>C</td></tr><tr><td>pp-japan</td><td>0,93</td><td>9</td><td>0,05</td><td>C</td></tr><tr><td>pp_CHIRPS</td><td>0,96</td><td>10</td><td>0,05</td><td>C</td></tr></table> Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	FUENTE	Medias	n	E.E.		pp-merra2	0,23	10	0,05	A	pp-GPM	0,61	10	0,05	B	pp_CRUTEM	0,93	10	0,05	C	pp-japan	0,93	9	0,05	C	pp_CHIRPS	0,96	10	0,05	C		PARA EL INDICADOR NSE-PT: El análisis de varianza mostró que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos A, B y C ($p<0.05$), obteniendo la mejor performance y con valores de medias de 0.96 a 0.93, los indicadores del grupo C, no habiendo diferencias significativas entre estos (CHIRPS, JAPAN y CRUTEM 4.04), y siendo superiores a MERRA 2 (grupo A) y GPM (grupo B).
FUENTE	Medias	n	E.E.																													
pp-merra2	0,23	10	0,05	A																												
pp-GPM	0,61	10	0,05	B																												
pp_CRUTEM	0,93	10	0,05	C																												
pp-japan	0,93	9	0,05	C																												
pp_CHIRPS	0,96	10	0,05	C																												

Tabla 6: Desempeño por Modelo e Indicador

Indicador / Modelo	MERRA-2	GPM	CHIRPS	CRUTEM 4.04	JAPAN
CC-SC	Bajo (A)	Bajo (A)	Alto (B)	Alto (B)	Alto (B)
NSE-SC	Muy bajo (A)	Medio (B)	Alto (C)	Alto (C)	Alto (C)
PBIAS-SC	Bueno (B)	Muy malo (A)	Bueno (B)	Bueno (B)	Bueno (B)
RMSE-SC	Muy alto (C)	Alto (B)	Bajo (A)	Bajo (A)	Bajo (A)
NSE-SF	Muy bajo (A)	Bajo (B)	Alto (C)	Alto (C)	Alto (C)
MAE-SF	Alto (A)	Medio (A-B)	Bajo (C)	Bajo (B-C)	Bajo (C)
PBIAS-PT	Bueno (B)	Muy malo (A)	Bueno (B)	Bueno (B)	Bueno (B)
RMSE-PT	Muy alto (C)	Alto (B)	Bajo (A)	Bajo (A)	Bajo (A)
MAE-PT	Alto (A)	Alto (A)	Bajo (B)	Bajo (B)	Bajo (B)
CC-PT	Medio (B)	Bajo (A)	Medio-alto (B-C)	Medio (B)	Alto (C)
NSE-PT	Muy bajo (A)	Bajo (B)	Alto (C)	Alto (C)	Alto (C)

Leyenda:

- **A, B, C** → Grupos definidos por la prueba LSD (letras iguales indican que no hay diferencia significativa entre los modelos)

- **Bajo / Alto / Medio / Muy alto** → Evaluación cualitativa relativa al conjunto de modelos

- **SC, SF, PT** → Semestre Cálido, Semestre Frío y Precipitación total.

Para el coeficiente de correlación (CC) y para el SC, se identificaron dos grupos estadísticamente distintos. El grupo A (MERRA-2 y GPM) presenta menores correlaciones (0,43 y 0,47), inferiores al grupo B (CHIRPS, CRUTEM 4.04 y JAPAN) con valores entre 0,72 a 0,83. Para la PT el grupo con mayor correlación fue el conformado por JAPAN (0,85) y CHIRPS (0,73), superiores al grupo A (GPM = 0,49) y grupo B (MERRA-2 y CRUTEM = 0,66). (Tabla 5).

La RMSE, evalúa la magnitud del error de las estimaciones de satélite con los de superficie, siendo sensible a errores más grandes y valores atípicos. Los indicadores que han obtenido la mejor performance, son CHIRPS, JAPAN y CRUTEM 4.04 (grupo A), con valores de error entre 214,36–300,39, sin diferencias significativas entre ellos, siendo superiores a GPM (885,61) y MERRA-2 (1366,29) que sobreestimaron, ubicándose en los grupos B y C, respectivamente. Según Alabar *et al.*, 2021, los resultados indican que la magnitud típica del error (RMSE) en meses del SC y en la escala anual no resulta confiable. En meses del SF los RMSE son menores a 13 mm (valor indicado como límite aceptable del indicador). En cuanto a la precipitación total, los errores más bajos se presentaron en CHIRPS, JAPAN y CRUTEM (grupo A), con valores de 183,75 a 261,78. GPM y MERRA-2 mostraron mayores errores (grupos B y C, respectivamente). Tablas 5 y 6.

La NSE mide la magnitud relativa de la variabilidad de los datos observados comparada con la varianza de los datos de satélite. El valor de los rangos en la NSE varía de $-\infty$ a 1. Siendo el valor 1 el

óptimo, los valores entre 0 y 1 son considerados aceptables en el desempeño, mientras que valores ≤ 0 indican un valor insatisfactorio. En consecuencia, evalúa la habilidad predictiva de los modelos de estimación de precipitación proveniente de sensores remotos. MERRA-2 se ubicó en el grupo A (0,19), GPM en el grupo B (0,66), y CHIRPS, CRUTEM 4.04 y JAPAN en el grupo C, éstos han obteniendo la mejor performance con valores de 0.93 a 0.95 para el SC (Cuadro 1), resultados similares han sido obtenidos por Guachamín, Páez-Bimos, & Horna, N. (2019). Para el SF se mantuvo una clara diferenciación entre los grupos. El mejor desempeño lo obtuvieron CHIRPS, CRUTEM 4.04 y JAPAN (grupo C: 0,88–0,90), seguidos de GPM (grupo B: 0,57) y MERRA-2 (grupo A: 0,20). En tanto que para la PT este indicador muestra que CHIRPS, JAPAN y CRUTEM (grupo C) alcanzaron valores entre 0,93 y 0,96, mientras que MERRA-2 y GPM presentaron desempeños significativamente inferiores (grupo A y B, respectivamente). Tablas 5 y 6.

Para el indicador MAE, se observa que los valores tanto para el SF como en la PT son superiores al óptimo (0). CHIRPS y JAPAN mostraron los valores más bajos (grupo C: -1,84 y -3,22 respectivamente), seguidos de CRUTEM (grupo B-C: -3,83). MERRA-2 y GPM presentaron los mayores errores absolutos (grupo A y A-B). Para la PT, GPM y MERRA-2 presentaron los errores absolutos más altos (grupo A: -47,04 y -31,65), mientras que CHIRPS, JAPAN y CRUTEM (grupo B) mostraron valores significativamente inferiores (entre -3,44 y -11,74). Resultados similares se obtuvieron en modelos climáticos evaluados erigiéndose los de alta correlación con más bajo MAE y PBIAS (Fernández & Fernández, 2021). Tablas 5 y 6. El PBIAS estima la diferencia media entre los datos de lluvias provenientes de satélite y la observada en superficie en forma porcentual. Sus valores pueden ser positivos o negativos; un sesgo relativo negativo indica una subestimación de la precipitación satelital y uno positivo una sobreestimación (Guachamín et al., 2019). Con respecto a este indicador y para el SC, GPM se diferenciò estadísticamente del resto con una media de -156,68% (grupo A), mientras que los otros modelos conformaron el grupo B, con mejores desempeños entre -32,4% y 4. Similar a SC, pero para el SF, GPM fue estadísticamente inferior (grupo A: -147,06%), mientras que el grupo B incluyó a los otros modelos con mejores desempeños (hasta 4,5%). Para la PT, GPM registró un sesgo porcentual negativo pronunciado (-147,06%), diferenciándose significativamente del resto. El grupo B mostró valores entre -38,77% y 4,5%, sin diferencias estadísticas entre ellos. Resultados similares se observaron en Tan & Duan (2017). Tablas 5 y 6.

CONCLUSIONES

Para todas las estaciones en estudio, los índices de mejor desempeño en la estimación de la precipitación en calidad y confiabilidad aplicados, son para la precipitación anual (PT) y el semestre cálido (SC), son CHIRPS, JAPAN Y CRUTEM 4,04.

No existe diferencia significativa entre las fuentes de información CHIRPS, JAPAN Y CRUTEM 4,04, mientras que los datos de precipitación obtenidos de MERRA 2 y GPM, si la tienen.

Los resultados mostraron que el producto CHIRPS a escala diaria y 0.05° de resolución espacial logró una mejor performance con los índices obtenidos: NSE: 0,96, CC: 0.73, MAE: 3,44, PBIAS: 16, RMSE: 183.

Para considerar las precipitaciones provenientes de sensores remotos, sería conveniente utilizar aquellos algoritmos que consideran la variación altitudinal, ya que, en el país, la región del NOA presenta gran heterogeneidad en la altitud y en consecuencia en las precipitaciones, sumado a la escasa densidad de información en superficie.

BIBLIOGRAFÍA

Alabar, F. D., Solís, J. M., Valdiviezo Corte, M. B., & Hurtado, R. H. (2021). Validación de las precipitaciones estimadas por TRMM y GPM en 6 estaciones de las provincias de Jujuy y Salta (Argentina). *Revista Científica de la FCA*, 14(2), 45–57.

- Arun Murali, C. M., Chowdary, V. M., Kesarwani, M., & Neeti, N. (2022). Integrated drought monitoring and assessment using multi-sensor and multi-temporal earth observation datasets: A case study of two agriculture-dominated states of India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195.
- Ayehu, G. T., Tadesse, T., Gessesse, B., & Dinku, T. (2018). Validación de nuevos productos de lluvia satelital sobre la cuenca del Alto Nilo Azul, Etiopía. **Atmospheric Measurement Techniques**, 11, 1921-1936. <https://doi.org/10.5194/amt-11-1921-2018>
- Barría, P. (2010). Pronóstico de caudales medios mensuales en las cuencas de los ríos Baker y Pascua [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-barria_ps/pdfAmont/cf-barria_ps.pdf
- Bergmeir, C., & Benítez, J. M. (2012). On the use of cross-validation for time series predictor evaluation. *Information Sciences*, 191, 192-213. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2011.07.028>
- Calderón Sánchez, S. K., & Mendoza Briones, M. K. (2024). Aplicación de modelación del ciclo hidrológico en la microcuenca hidrografía Carrizal [Proyecto de investigación, Escuela Superior Politécnica de Manabí Manuel Félix López]. Carrera de Ingeniería Ambiental. https://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/2347/1/TIC_IA74D.pdf
- Castillo Acosta, O., & Leines Medécigo, J. C. (2023). Agua para la vida. Consejo Editorial, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Coaquira, Y., Calderón, A., & Huaccoto, P. (2019). Análisis comparativo de precipitaciones medias mensuales utilizando datos de satélite TRMM 3B43 y estaciones meteorológicas en la cuenca Huancané, Puno-Perú. *Revista Científica*, 2(51), 50-58.
- Essou, G. R. C., Brissette, F., & Lucas-Picher, P. (2017). The use of reanalyses and gridded observations as weather input data for a hydrological model: Comparison of performances of simulated river flows based on the density of weather stations. *Journal of Hydrometeorology*, 18(2), 497-513. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-16-0088.1>
- Feidas, H. (2010). Validation of satellite rainfall products over Greece. *Theoretical and Applied Climatology*, 99(1-2), 193-216. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0135-8>.
- Fernández, S., & Fernández, C. (2021). Validación de la precipitación estimada en modelos climáticos globales del CMIP6 para la Cuenca Tupiza. *Revista Técnica Ingenium*, 1(2), 89-96. <https://revistas.usfx.bo/index.php/ing/article/view/1531>
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., et al. (2015). Los riesgos climáticos de la precipitación infrarroja con estaciones: un nuevo estudio ambiental. *Récord de monitoreo de extremos. *Datos científicos**, 2, 150066. <https://doi.org/10.XXX>
- Garay, D. (2021). *Análisis comparativo entre datos anuales de precipitación estimada por satélite y observaciones pluviométricas de los Llanos de La Rioja*. Estación Experimental Agropecuaria La Rioja, INTA Digital. Repositorio Institucional. <https://repositorio.inta.gob.ar/>
- Gavilán, S., Pastore, J. I., Uranga, J., Ferral, A., Lighezzolo, A., & Aceñolaza, P. (2019). Metodología operativa para la obtención de datos históricos de precipitación a partir de la misión satelital Tropical Rainfall Measuring Mission: Validación de resultados con datos de pluviómetros. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 118, 111-121.

- Giovanni NASA. (2021). *Estimación de las precipitaciones de satélite de TRMM y GPM*. <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
- Guachamín, W., Páez-Bimos, S., & Horna, N. (2019). Evaluación de productos IMERG V03 y TMPA V7 en la detección de crecidas: Caso de estudio cuenca del río Cañar. *Revista Politécnica*, 42, 1–17. <https://doi.org/10.33333/rp.vol42n2.942>
- Hersbach, H., et al. (2020). *The ERA5 global reanalysis*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.
- Hou, A. Y., Kakar, R. K., Neeck, S., Azarbarzin, A. A., Kummerow, C. D., Kojima, M., ... & Iguchi, T. (2014). The Global Precipitation Measurement Mission. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(5), 701–722. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00164.1>
- Hurtado, S. I., Zaninelli, P. G., Agosta, E. A., et al. (2021). *Infilling methods for monthly precipitation records with poor station network density in Subtropical Argentina*. **Atmospheric Research**. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105482>
- Hyndman, R. J., & Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*, 22(4), 679–688. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.03.001>
- Iqbal, M. F., & Athar, H. (2018). *Validation of satellite based precipitation over diverse topography of Pakistan*. *Atmospheric Research*, **201**, 247–260. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.10.026>
- Joyce, R. J., Janowiak, J. E., Arkin, P. A., & Xie, P. (2004). CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology*, 5(3), 487–503. [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2004\)005<0487:CAMTPG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2004)005<0487:CAMTPG>2.0.CO;2)
- Kidd, C., & Levizzani, V. (2011). *Status of satellite precipitation retrievals*. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 1109–1116.
- Kidd, C., Kniveton, M. C., Todd, M. C., & Bellerby, T. J. (2003). Satellite rainfall estimation using combined passive microwave and infrared algorithms. *Journal of Hydrometeorology*, 4(6), 1088–1104. [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2003\)004<1088:SREUPC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2003)004<1088:SREUPC>2.0.CO;2)
- Liu, H., Tian, H. Q., Chen, C., & Li, Y. (2010). A hybrid statistical method to predict wind speed and wind power. *Renewable Energy*, 35(8), 1857–1861. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.01.007>
- Liu, Z. (2016). Comparison of Integrated Multisatellite Retrievals for GPM (IMERG) and TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) Monthly Precipitation Products: Initial Results. *Journal of Hydrometeorology*, 17(3), 777–790. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0068.1>
- Lujano, L. E., Obando, F. O., Lujano, L. A., & Quispe Aragón, J. (2015). Validación de la precipitación estimada por satélite TRMM y su aplicación en la modelación hidrológica del río Ramis Puno Perú. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 17, 221–228. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5169796>
- Murphy, G., & Hurtado, R. (2011). *Agrometeorología*. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)

- Ritter, A., & Muñoz, R. (2013). Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *Journal of Hydrology*, 480, 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.004>
- Roque Quiroz, R. A. (2023). Validation of the precipitation data (1981–2016) of the PISCO v2.1 product: Meteorological station, elevation, seasonality of the year, and climatic region in the Tumbes basin, Peru. *Manglar*, 20(1), 41–50. <https://doi.org/10.57188/manglar.2023.005>
- Roy, P. S., et al. (2017). *Satellite remote sensing: sensors, applications and challenges*. (revisión).
- Salvó, C. S., Baldassini, P., & Di Bella, C. (2021). Identificación de campos de precipitación mediante el uso de radares meteorológicos: una alternativa para mejorar las estimaciones espaciales de las lluvias. *RIA*, 47, 240–248.
- Tan, M., & Duan, Z. (2017). Assessment of GPM and TRMM precipitation products over Singapore. *Remote Sensing*, 9(7), 720. <https://doi.org/10.3390/rs9070720>
- Toté, C., Patricio, D., Boogaard, H., Van Der Wijngaart, R., Tarnavsky, E., & Funk, C. (2015). *Evaluation of satellite rainfall estimates for drought and flood monitoring in Mozambique*. Flemish Institute for Technological Research, Instituto Nacional de Meteorología (INAM), Alterra - Wageningen University, University of Reading, USGS-EROS, and University of California Santa Barbara.
- University of East Anglia Climatic Research Unit, Harris, I. C., Jones, P. D., & Osborn, T. (2020). *CRU TS4.04: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) version 4.04 of high-resolution gridded data of month-by-month variation in climate (Jan. 1901–Dec. 2019)*. Centre for Environmental Data Analysis. <https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/89e1e34ec3554dc98594a5732622bce9>
- Vaheddoost, B., Safari, M. J. S., & Yilmaz, M. U. (2023). Rainfall-runoff simulation in ungauged tributary streams using drainage area ratio-based multivariate adaptive regression spline and random forest hybrid models. *Pure and Applied Geophysics*. <https://doi.org/10.1007/s00024-022-03209-3>
- Wu, X., Zhu, X., Cao, G., & Tu, H. (2008). Dynamic modeling of SOFC based on a T–S fuzzy model. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 16(5), 494–504. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2008.01.007>
- Zambrano-Bigiarini, M., Nauditt, A., Birkel, C., Verbist, K., & Ribbe, L. (2017). *Temporal and spatial evaluation of satellite-based rainfall estimates across the complex topographical and climatic gradients of Chile*. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(2), 1295–1320. <https://doi.org/10.5194/hess-21-1295-2017>

COMPOSTAR PARA DAR VIDA

COMPOSTING TO GIVE LIFE

Ruiz, G. B.^{1,5*}, Céspedes S.², Quispe, J. E. S.¹, Cruz, V.¹, Flores Cali, N.¹, Guerrero, F.¹, Julián, J. F. J.¹, Aguado, L. I.⁴, Lujan Rudek N.⁴, Martínez Rospilloso, J. M.³

¹ Cátedra de Microbiología. Sede Humahuaca. Facultad de Ciencias Agrarias, UNJu

² Cátedra de Aprovechamiento Forestal. Sede San Pedro. Facultad de Ciencias Agrarias, UNJu

³ Cátedra de Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias, UNJu

⁴ Cátedra de Biología Animal, Facultad de Ciencias Agrarias, UNJu

⁵ Instituto de Ecorregiones Andinas-INECOA (CONICET-UNJu)

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

Período de Publicación:
Diciembre 2025

Historial:
Recibido: 07-07-25
Aceptado: 29-08-25

RESUMEN

La provincia de Jujuy sufre actualmente problemas ambientales y sociales, relacionados con el cambio climático. La gestión inadecuada de los residuos contamina el ambiente, amenaza la salud de todos los seres vivos y la biodiversidad de nuestra región, siendo los barrios suburbanos los sectores más vulnerables de la ciudad. Los residuos orgánicos de origen doméstico, comercial o producto de industrias son los que más se generan y los que menos se gestionan. El objetivo de este trabajo fue promover la elaboración de compost a partir de residuos orgánicos y destinarlos a la producción de una huerta en el barrio Coronel Arias de la Ciudad de San Salvador de Jujuy en el marco de un proyecto de Voluntariado Universitario "Malvinas Argentinas 2022". Para este fin se brindaron capacitaciones sobre la producción del compost y la construcción de una huerta. Con la participación de jóvenes y niños se elaboró compost y por otro lado se preparó la tierra y almácigos para el posterior armado de una huerta. El desarrollo de este proyecto de voluntariado propone una solución de gestión de los residuos orgánicos generados, de una forma sencilla, económica y para ser aprovechadas en huertas como un alimento rico en nutrientes, que promueve buenas prácticas y hábitos de consumo saludable. Se logró sensibilizar a los participantes sobre la importancia del reciclaje y el cuidado del ambiente. Por lo tanto, estas actividades son un gran aporte para las comunidades barriales, para la concientización y para el desarrollo de acciones que contribuyan a reducir, reutilizar y reciclar los residuos orgánicos generados.

Palabras clave: compostaje, conciencia ambiental, huerta urbana, residuos orgánicos

SUMMARY

The province of Jujuy currently faces environmental and social challenges related to climate change. Improper waste management pollutes the environment, threatens the health of all living beings, and the biodiversity of our region. Suburban neighborhoods are the most vulnerable sectors of the city. Organic waste from domestic, commercial, and industrial sources is generated in the greatest amounts and the least managed. The objective of this project was to promote the production of compost from organic waste and its application in a vegetable garden in Coronel Arias neighborhood in San Salvador de Jujuy, under a University Volunteer project "Malvinas Argentinas 2022." To this end, training was provided on compost production and garden construction. With the participation of young people and children, compost was elaborated, and the soil and seedlings were prepared for the subsequent construction of a garden. The execution of this volunteer project offers a simple, cost-effective solution for managing the organic waste generated, enabling it to be used in gardens as a nutrient-rich food, promoting good practices and healthy eating habits. Participants were able to raise awareness about the importance of recycling and environmental protection. Therefore, these activities are a significant contribution to neighborhood communities in raising awareness and developing actions that contribute to reducing, reusing, and recycling the organic waste generated.

Keywords: composting, environmental awareness, organic waste, urban vegetable garden

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas ambientales de las explotaciones agrícolas son los residuos orgánicos que se generan (restos de poda, de cosecha, de post-cosecha, estiércol, pasto, fruta caída, entre otros). Normalmente, debido al desconocimiento, a la falta de un espacio adecuado, o de tiempo, las prácticas habituales con estos residuos son la quema, la incorporación al suelo o el abandono del material a la intemperie hasta su descomposición. El compostaje proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola (FAO, 2003; FAOTERM). Se llama compostaje a la técnica realizada en condiciones particulares de humedad, aireación, temperatura, bajo la acción de ciertos microorganismos, para la transformación y la estabilización de residuos orgánicos biodegradables en un producto final llamado compost, que según su contenido de nutrientes puede ser un abono de buena calidad (Luna & Bolaños, 2007).

Este proceso permite la reducción significativa de residuos en instituciones y ciudades, realizando así un aporte significativo al medio ambiente, mitigando la contaminación en áreas destinadas a la disposición de residuos, tales como los rellenos sanitarios, que generan vectores y agentes tóxicos importantes para las matrices de aire, suelo y agua. El compostaje es una opción integral y sostenible que hace parte del modelo de economía circular, donde los residuos sirven de materia prima para producir compost rico en nutrientes que puede ser utilizado en la fertilización de suelos para la agricultura, creando así un ciclo cerrado que reduce considerablemente los impactos ambientales (Díaz, 2025).

Del compostaje se obtiene abono como un producto sano y seguro para uso en huertas familiares. La huerta es un espacio de acción, que abre la posibilidad de aprender haciendo. Hacer una huerta no solo implica reconocer especies sino también aprender a crear, diseñar y proyectar para apropiarse del espacio.

Aprender conceptos y procedimientos sobre cómo sembrar, ralea, cosechar, multiplicar, regar. Aprender a cuidar a otros seres vivos y también a cuidarse uno mismo. Es un proceso que permite comprender de dónde vienen los alimentos y dimensionar el trabajo que implica para quienes lo producen. Es un espacio de contacto con la naturaleza, que brinda la posibilidad de estar en contacto con ella, dentro de la ciudad. Además de ser un espacio que embellece el entorno o recupera lugares abandonados con propuestas que despiertan nuevas ideas como el disfrute, la recreación y la realización de actividades al aire libre (Wezel *et al.*, 2020). Este proyecto propone una alternativa para el manejo de los residuos orgánicos, mediante un método simple y de bajo costo que permite transformarlos en un recurso valioso para las huertas. Fomentando la adopción de buenas prácticas y la incorporación de hábitos de consumo más saludables de la comunidad.

DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

En el marco de la Convocatoria Voluntariado “Malvinas Argentinas” 2022, se desarrolló el proyecto “Compostar para dar vida” integrados por docentes, egresados y estudiantes de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNJu. Durante el periodo de ejecución del proyecto, los docentes integrantes entre ellos Ingenieros Agrónomos y Licenciados en Ciencias Biológicas desarrollaron diferentes capacitaciones y talleres destinados a los niños, jóvenes y a padres del grupo Scout San Francisco de Asís de la iglesia San Lucas, de San Salvador de Jujuy (Fotos 1-4).

Los temas abordados fueron:

- Procedimiento para la elaboración de compost. Materiales necesarios. Usos
- Importancia ambiental y los beneficios de su preparación.
- Elaboración, diseño y mantenimiento de huertas agroecológicas.
- Medidas y precauciones a tener en cuenta para su cuidado.
- Plagas que afectan a los cultivos.
- Reconocimiento de los insectos benéficos y perjudiciales de la huerta.
- Métodos de control y prevención.



Fotos 1-4: Docentes desarrollando diferentes charlas y talleres con los integrantes del grupo Scout.

Finalizada estas actividades se procedió a realizar la elaboración del compost orgánico con los niños, jóvenes y adultos del grupo Scout, quienes se encargaron de reunir grandes cantidades de diferentes residuos orgánicos, para su elaboración (Fotos 4-8). Paralelamente se inició con la construcción de las huertas (preparación del terreno, almácigos, siembra, riego, y protección contra plagas, entre otras), (Fotos 9-12). Se procedió al control y seguimiento continuo del compost y la huerta. Finalizada la etapa de producción del compost, este fue incorporado a la tierra de la huerta. La huerta fue continuamente controlada, hasta la cosecha y obtención de diferentes productos, entre los que se encontraban plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.), apio (*Apium graveolens* L.), rúcula (*Eruca vesicaria* L.), acelga (*Beta vulgaris* L.), perejil (*Petroselinum crispum* Mill), zanahoria (*Daucus carota* L.), rabanitos (*Raphanus sativus* L.), aromáticas, entre otras (Fotos 13-16). Para finalizar se realizó una serie de actividades conjuntas con todos los integrantes el proyecto y participantes del grupo scout, donde se reiteraron conceptos e información importante sobre los cuidados y precauciones en la huerta. También se realizaron actividades lúdicas para reconocer diferentes especies de hortalizas, morfología de semillas y momentos de cosecha para cada cultivo. Por otra parte se participó de varias actividades de extensión entre ellas de stand en ferias científicas, participación de charlas sobre lo trabajado en el voluntariado en colegios secundarios y en la Jornadas Científico Técnicas de la Facultad de Ciencias Agrarias.



Fotos 4-8: Preparación y mantenimiento del compost.



Fotos 13-16. Compost obtenido y algunas de las verduras y plantas aromáticas cosechadas (remolachas, rabanitos, zanahoria, perejil, orégano, romero).

REFLEXIONES FINALES

El desarrollo de este tipo de actividades genera conciencia ambiental e incentiva a niños, jóvenes y adultos a gestionar los residuos orgánicos domiciliarios generados dándoles una nueva utilidad que, a su vez, les permite obtener alimentos producidos por ellos mismos y más saludables, que les resulta sin duda reconfortante y los motiva a continuar con la elaboración de compost, la producción y el mantenimiento de su huerta. La huerta urbana, brinda a la comunidad, un lugar donde interactuar con el medio ambiente, no sólo como un lugar para cultivar y cuidar de las plantas, sino también como un espacio en el cual se puedan abordar diferentes temáticas y tener un contacto directo con el entorno natural que permitirá principalmente a niños y jóvenes abordar nociones de la naturaleza, el ambiente, las problemáticas ambientales, el derecho a un ambiente sano, el cambio climático y la acción colectiva.

AGRADECIMIENTOS

A todo el personal de la iglesia San Lucas y a todos los padres, niños y jóvenes del grupo Scout que participaron en el desarrollo del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- Arqueros M.X., Gallardo Araya N.L. (2014). La huerta agroecológica como proceso de enseñanza-aprendizaje. Ciencia Hoy. Volumen 24, número 140. Facultad de Agronomía, UBA.
- Ardila, B. (2017). La huerta escolar como estrategia pedagógica para mejorar la percepción nutricional por medio de la concientización e importancia de los recursos naturales para ello; en los estudiantes de primaria de la sede Alto Riecito (Especialización en Educación Ambiental). Fundación Universitaria los Libertadores, Bogotá. Universidad de Antioquia Facultad de Ingeniería Ingeniería Ambiental Medellín, Antioquia, Colombia.

- Altieri M. (1997). Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable. Consorcio Latinoamericano sobre Agroecología y Desarrollo, Grupo Gestor Asociación Cubana de Agricultura Orgánica, La Habana.
- Díaz P.A.E. (2025). Manual de buenas prácticas en la elaboración del compost en la Universidad Pontificia Bolivariana. Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Cittadini R. 2008. La huerta orgánica. 3era Ed.- Buenos Aires. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA. 68 p.
- FAO (2003). "On-farm Composting Methods" FAO, Rome.
- FAOTERM. <https://www.fao.org/faoterm/collections/faoterm/es/>
- Gallardo Araya N.L., Arqueros M.X. (2008). 'La agricultura urbana: ¿Una práctica utópica en las ciudades posmodernas?', VIII Reunión del Grupo de Trabajo Desarrollo Urbano de CLACSO en FLACSO, Buenos Aires.
- Guzmán Casado G., González De Molina M., Sevilla Guzmán E. (2000). Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible, Mundi Prensa, Madrid.
- Luna, L. A., y Bolaños, M. M. (2007). Producción de abonos orgánicos de alta calidad. Recuperado de: https://www.corantioquia.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/1_compostaje.pdf
- Wezel A., Herren B.G., Bezner Kerr R., Barrios E., Rodrigues Gonçalves A.L., Sinclair F. (2020). Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 40:40 (2020). Springer/INRAe.