



JOURNAL
AGRO-ECOLÓGICA

ISSN-e:2313-2906

Universidad Mayor, Real y Pontificia de San
Francisco Xavier de Chuquisaca

Revista Científica de la Facultad de Ciencias Agrarias



Journal of the Faculty of Agricultural Sciences

Volumen 3-Numero 1 /2024

AGRO-ECOLÓGICA

ISSN 2313-2906 (Digital)

Volumen 3-Número 1, 2024

AGRO-ECOLÓGICA publicada por primera vez en 2014, es una revista semestral editada por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca (USFX). Este número digital, recoge los resultados de diferentes pesquisas realizados por investigadores nacionales e internacionales.

La revista publica artículos originales notas y ensayos sobre agricultura sostenible y la biodiversidad con énfasis en Chuquisaca, Bolivia y países vecinos, arbitrados mínimo por dos evaluadores externos y uno interno. Incluye temas relativos a agricultura, ecología, biología, conservación, manejo de recursos y uso de la biodiversidad.

Directorio de la revista

Walter Arízaga Cervantes: Rector-USFX
Erick Mita Arancibia: Vicerrector-USFX
Jorge Ronald Alurralde Saavedra: Decano - FCA

Vladimir Gutiérrez Mercado: Coordinador de Carreras Ingeniería Agronómica, Recursos Naturales y Desarrollo Rural

Oscar Vera Fernández: Director de Carrera Agronomía Técnico Superior

Martha Serrano Pacheco: Editora
Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria
Winder Felípez Chiri: Editor-científico
Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria
Reinado Lozano Ajata: Co-editor
Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria

Jhon Milton Escobar Saavedra: Manejo base de datos
Instituto Tecnológico Boliviano Alemán

Zorayda Montalvo Avendaño: Diseño de portadas
Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria

Editores Asociados

Tommy Dalgaard, Aarhus University, Dinamarca.

David Luciano Rosalen, Universidade Estadual Paulista, Brasil

Georgina Catacora, Universidad Católica, Bolivia.

Per Kudzk, Aarhus University, Dinamarca.

Editores de Sección Internacional

Alice Peña, Universidad del Este, Paraguay.

Daysi Ramirez, Universidad del Este, Paraguay.

Eloy Fernandez, Czech University of Life Sciences Prague, República Checa.

Francisco Pastor, Instituto Nacional Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México.

Jennifer Villavicencio, Universidad Científica del Sur, Perú.

Marianela Conce, Instituto Dominicano de Investigación Agropecuaria, Republica Dominicana.

Mario Chacón León, CATIE, Costa Rica.

Paola Mariela Studer, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.

Patricia Novo, Universidad Nacional del Este, Argentina.

Stephanie Frischie, The Xerces Society for Invertebrate Conservation, EE.UU.

Todos los derechos reservados

ISSN: 2313-2906

Depósito legal: 3-3-66-15 P.O.

Editores de Sección, Nacionales

Carola Antezana, *Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.*

Ceferino Peca, *Universidad Autónoma Tomas Frías, Bolivia.*

Cresencio Calle, *PROINPA, Bolivia.*

Edwin Machaca Mamani, *Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.*

Isabel Llimachi, *Cooperación Técnica Alemana - GIZ, Bolivia.*

Información: Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria (IASA)

Casilla 1046, Correo Central, Sucre Bolivia

Telf. (591) 464 31004/ Fax (591) 464 55653

agro-ecologica@usfx.bo iasa.fca@usfx.bo

<https://revistas.usfx.bo>

Sucre, Bolivia

Revista AGRO-ECOLÓGICA

2024, Vol. 3 Núm. 1

CONTENIDO

Editorial

El Rol Crítico de la Agrobiodiversidad en Chuquisaca, Bolivia <i>Cresencio Calle Cruz</i>	363
--	-----

Artículos Originales

Características morfométricas de tres especies de pacay (<i>Inga spp.</i>) que afectan la calidad de la sombra en sistemas agroforestales de cacao (<i>Theobroma cacao</i>) <i>Consuelo Campos Villanueva, Alejandra Domic, Renate Seidel, Wiebke Niether & Monika Schneider</i>	365
Tres décadas y medio de cambio de cobertura y uso de suelo en un área protegida del sur de Bolivia <i>Reinaldo Lozano Ajata & Edwin Machaca Mamani</i>	372
Calidad fisiológica y sanitaria de semillas de maíz (<i>Zea mays</i>) cultivadas en Sucre y Yotala, Bolivia <i>Alfredo José Salinas-Arcienega & Martha Serrano Pacheco</i>	378

Artículos de revisión

Agricultura Urbana en la Finca Aranjuez, Sucre, Bolivia: Análisis de Investigaciones Agroecológicas (2016-2020) <i>Josue Bejarano Chumacero1* & Manuel Jimenez Huaman</i>	384
--	-----

Editorial

El Rol Crítico de la Agrobiodiversidad en Chuquisaca, Bolivia

The Critical Role of Agrobiodiversity in Chuquisaca, Bolivia

Cresencio Calle Cruz¹

*Autor de Correspondencia: c.calle@proinpa.org

¹Fundación PROINPA, Sucre, Bolivia

Recibido: 01/11/2024 Aceptado para publicación: 01/12/2024

La agrobiodiversidad, entendida como la variedad y variabilidad de plantas, animales y microorganismos utilizados para la alimentación y la agricultura, es un pilar fundamental de los sistemas agrícolas sostenibles. En Bolivia, esta diversidad tiene una importancia particular, ya que sustenta la resiliencia y sostenibilidad de las prácticas agrícolas locales. No obstante, su conservación enfrenta desafíos crecientes que exigen atención urgente.

Bolivia, cuenta con una diversidad agrícola de variedades de cultivos, como la papa (*Solanum spp*) y la quinua (*Chenopodium quinoa*) reconocida a nivel mundial por su agrobiodiversidad, con aproximadamente 1,944 variedades de papa y 2,963 variedades de quinua preservadas por agricultores indígenas (Taranto *et al.*, 2021). Esta riqueza genética no solo garantiza la seguridad alimentaria, sino que también respalda la adaptación a condiciones climáticas y ambientales variables. Por ejemplo, la diversidad genética entre las variedades de papa permite a las comunidades locales mitigar las pérdidas de cosechas provocadas por plagas, enfermedades o eventos climáticos extremos.

El conocimiento tradicional desempeña un papel indispensable en el mantenimiento de esta agrobiodiversidad. Las comunidades indígenas de Chuquisaca poseen un profundo entendimiento de los ecosistemas locales, los ciclos de cultivo y las prácticas agrícolas sostenibles (Catacora-Vargas *et al.*, 2017; Ibarra *et al.*, 2024). Sus prácticas, como la asociación de cultivos y la selección de semillas, se han perfeccionado a lo largo de generaciones, fomentando la biodiversidad mientras aseguran la productividad agrícola. Integrar estos enfoques tradicionales con técnicas modernas podría mejorar aún más la resiliencia y productividad de los sistemas agrícolas locales.

El cambio climático, sin embargo, representa una amenaza significativa para este delicado equilibrio. Los patrones climáticos cambiantes, incluyendo lluvias irregulares y fluctuaciones de temperatura, impactan directamente los calendarios de siembra, la fertilidad del suelo y la viabilidad de ciertas variedades de cultivos (Saxena *et al.*, 2016). Por ejemplo, el cultivo de quinua requiere condiciones climáticas específicas que están siendo cada vez más amenazadas por el calentamiento global. En este contexto, las estrategias locales para combatir el cambio climático, como la agroforestería, se vuelven esenciales.

La agroforestería, un enfoque que integra prácticas agrícolas y forestales, ha demostrado ser prometedora para promover la sostenibilidad y conservar la biodiversidad. Al incorporar especies leñosas valiosas, los sistemas agroforestales en Chuquisaca mejoran la salud del suelo, proporcionan hábitats para especies beneficiosas y crean microclimas que protegen los cultivos (Brandt *et al.*, 2012, 2013). Estas prácticas no solo fortalecen la agrobiodiversidad, sino que también mitigan los efectos del cambio climático mediante la captura de carbono y la reducción de la erosión del suelo.

A pesar de estos esfuerzos, la industrialización y globalización de los sistemas alimentarios presentan desafíos significativos. El auge de los monocultivos y la preferencia por variedades comerciales de alto rendimiento han llevado a un declive en la diversidad de cultivos nativos. Las iniciativas de conservación, como bancos de semillas in situ y ex situ, el agroturismo y las campañas educativas, son fundamentales para contrarrestar esta tendencia (Taranto *et al.*, 2021). Estas medidas apoyan la preservación y promoción de los cultivos nativos, asegurando su continua contribución a la seguridad alimentaria y el patrimonio cultural.

La agrobiodiversidad de Chuquisaca va más allá de cultivos básicos de hortalizas, cereales y tubérculos. La diversidad agrícola de la región incluye *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris*, *Capsicum spp.* y *Arachis hypogaea*, cada uno con características genéticas únicas y una significancia cultural destacada. Por ejemplo, Bolivia es un centro de diversidad para el maíz, con 1,513 razas documentadas (Costa et al., 2017). De manera similar, la riqueza del país en especies de *Capsicum* incluye 487 accesiones, abarcando tanto taxones domesticados como silvestres (Van Zonneveld et al., 2015). Estos cultivos destacan la riqueza agrícola más amplia de Bolivia, de la cual Chuquisaca es una parte integral.

Por tanto, la agrobiodiversidad de Chuquisaca es un recurso vital que requiere esfuerzos concertados para su conservación. El conocimiento tradicional, las prácticas sostenibles como la agroforestería y las estrategias de conservación proactivas deben integrarse para salvaguardar este recurso frente a las presiones del cambio climático y la industrialización. La diversidad agrícola de Chuquisaca no solo sostiene los medios de vida locales, sino que también contribuye a la seguridad alimentaria global y la resiliencia ecológica. Los esfuerzos colaborativos entre investigadores, responsables de políticas y comunidades locales serán esenciales para garantizar que esta agrobiodiversidad continúe prosperando para las generaciones venideras.

Referencias

- Brandt, R., S. L. Mathez-Stiefel, S. Lachmuth, I. Hensen, and S. Rist. 2013. "Knowledge and Valuation of Andean Agroforestry Species: The Role of Sex, Age, and Migration among Members of a Rural Community in Bolivia." *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 9(1). doi: 10.1186/1746-4269-9-83.
- Brandt, R., H. Zimmermann, I. Hensen, J. C. Mariscal Castro, and S. Rist. 2012. "Agroforestry Species of the Bolivian Andes: An Integrated Assessment of Ecological, Economic and Socio-Cultural Plant Values." *Agroforestry Systems* 86(1):1–16. doi: 10.1007/s10457-012-9503-y.
- Costa, Flaviane Malaquias, Natália Carolina de Almeida Silva, and Juliana Bernardi Oglari. 2017. "Maize Diversity in Southern Brazil: Indication of a Microcenter of *Zea Mays* L." *Genetic Resources and Crop Evolution* 64(4):681 – 700. doi: 10.1007/s10722-016-0391-2.
- Catacora-Vargas, G., A. Piepenstock, C. Sotomayor, D. Cuentas, A. Cruz, and F. Delgado. 2017. "Brief Historical Review of Agroecology in Bolivia." *Agroecology and Sustainable Food Systems* 41(3–4):429–47. doi: 10.1080/21683565.2017.1290732.
- Ibarra, J. T., J. Caviedes, C. Monterrubio-Solís, A. Barreau, and C. Marchant. 2024. "Social-Ecological Resilience: Knowledge of Agrobiodiversity by Campesinos and Migrants in the Face of Global Changes." *Journal of Environmental Management* 370. doi: 10.1016/j.jenvman.2024.122461.
- Saxena, A. K., X. C. Fuentes, R. G. Herbas, and D. L. Humphries. 2016. "Indigenous Food Systems and Climate Change: Impacts of Climatic Shifts on the Production and Processing of Native and Traditional Crops in the Bolivian Andes." *Frontiers in Public Health* 4. doi: 10.3389/fpubh.2016.00020.
- Taranto, S. R., E. M. Alvarez, and W. Rojas. 2021. "Agritourism and Conservation of Neglected and Underutilized Native Andean Crops in Santiago De Okola, Bolivia." Pp. 198–207 in *Orphan Crops for Sustainable Food and Nutrition Security: Promoting Neglected and Underutilized Species*. Sendas Altas - Operadores en Turismo, Edificio California, 2022 Avenida Ecuador, Piso 7, La Paz, Bolivia: Taylor and Francis.
- Van Zonneveld, M., M. Ramirez, D. E. Williams, M. Petz, S. Meckelmann, T. Avila, C. Bejarano, L. Ríos, K. Peña, M. Jäger, D. Libreros, K. Amaya, and X. Scheldeman. 2015. "Screening Genetic Resources of *Capsicum* Peppers in Their Primary Center of Diversity in Bolivia and Peru." *PLoS ONE* 10(9). doi: 10.1371/journal.pone.0134663.

Artículo original

Características morfométricas de tres especies de pacay (*Inga spp.*) que afectan la calidad de la sombra en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*)

Morphometric characteristics of three species of Pacay (*Inga spp.*) that affect shade quality in cocoa agroforestry systems (*Theobroma cacao*)

Consuelo Campos Villanueva^{1*}, Alejandra Domic^{1,2}, Renate Seidel¹, Wiebke Niether³ & Monika Schneider⁴

*Autor de Correspondencia: consuelocampos@hotmail.com

¹Herbario Nacional de Bolivia-Instituto de Ecología, Campus Universitario de Cota Cota, Calle 27, La Paz.

²Department of Geosciences, Pennsylvania State University, PA 16802, Estados Unidos

³Göttingen University, Institute of Geography, Goldschmidtstrasse 5, 37077 Göttingen, Germany

⁴Department of International Cooperation, Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL), Ackerstrasse 113, Postfach 219, 5070 Frick, Suiza

Recibido: 01/11/2024 Aceptado para publicación: 01/12/2024

Resumen

Los árboles del género *Inga* son frecuentemente empleados en sistemas agroforestales de cacao y café por los beneficios ecosistémicos que proveen. En los sistemas agroforestales la cobertura del dosel y las características morfológicas de los árboles acompañantes son importantes para el crecimiento del cacao (*Theobroma cacao*). El objetivo de este estudio fue evaluar la función de árboles del género *Inga* (*I. ingoides*, *I. marginata* e *I. spectabilis*) en la calidad de la sombra para el desarrollo de *Theobroma cacao*. El área de estudio está ubicada en Sara Ana al noreste del departamento de La Paz, Bolivia. Comparamos el porcentaje de sombra generado por árboles de *Inga* bajo sistemas agroforestales de cacao convencionales y orgánicos y, adicionalmente, comparamos las relaciones morfométricas en tres especies de *Inga*. La evaluación mostró un porcentaje del dosel cerrado en parcelas convencionales y parcelas orgánicas. *I. ingoides* presenta un promedio de 73% de dosel cerrado, *I. spectabilis* un 59% de dosel cerrado e *I. marginata* un 84% de dosel cerrado. *I. ingoides* mostró un incremento positivo lineal en el diámetro al pecho (DAP) y la dimensión de la copa con la altura de la planta. Mientras que *I. spectabilis* sólo mostró un incremento lineal en el DAP a medida que la altura total incrementó e *I. marginata* no mostró ninguna relación. Las especies de *Inga* evaluadas mostraron diferencias intraespecíficas en sus características de sombra y su uso para sistemas agroforestales de cacao, los productores podrían tomar en cuenta otros aspectos como características climáticas (horas solares) y la capacidad de manejo en el empleo de especies antes de plantar.

Palabras clave: *Inga*, sistemas agroforestales, sombra, DAP

Abstract

Trees of the *Inga* genus are frequently used in agroforestry systems for cacao and coffee due to the ecosystem benefits they provide. In agroforestry systems, canopy cover and the morphological characteristics of companion trees are important for the growth of cacao (*Theobroma cacao*). The objective of this study was to evaluate the function of *Inga* trees (*I. ingoides*, *I. marginata*, and *I. spectabilis*) in providing shade for the development of *Theobroma cacao*. The study area is located in Sara Ana, northeast of the La Paz department in Bolivia. We compared the percentage of shade provided by *Inga* trees in conventional and organic cacao agroforestry systems, and additionally, we compared the morphometric relationships in three *Inga* species. The evaluation showed a percentage of closed canopy in both conventional and organic plots. *I. ingoides* presented an average of 73% closed canopy, *I. spectabilis* 59%, and *I. marginata* 84%. *I. ingoides* showed a positive linear increase in diameter at breast height (DBH) and canopy size with plant height, while *I. spectabilis* showed only a linear increase in DBH as total height increased, and *I. marginata* showed no relationship. The evaluated *Inga* species exhibited intraspecific differences in their shade characteristics and their use in cacao agroforestry systems. Producers could consider other factors, such as climatic conditions (sunlight hours) and management capacity, before planting these species.

Keywords: agroforestry systems, *Inga*, shade, DBH

Introducción

En los trópicos, los Sistemas Agroforestales (SAFs) con cacao y café son sistemas comunes de producción, de los cuales cerca del 70% de la producción de cacao (*Theobroma cacao*) proviene de pequeños agricultores (Álvarez-Carrillo *et al.* 2012). Los SAFs son una forma de producción agrícola y forestal conjunta, que busca minimizar el impacto negativo de la producción agrícola en la biodiversidad y, a su vez, controla plagas y enfermedades de forma natural sin el empleo de fertilizantes, insecticidas ni herbicidas químicos, empleando solo deshierbe manual y algunas veces repelentes naturales. Para esto se combinan especies económicamente rentables como especies forestales, frutales, medicinales y de poda (Willkes 2006). Esto permite al agricultor diversificar la producción, obteniendo una diversidad de productos como madera, leña, frutos, plantas medicinales, forrajes, entre otros (Sáenz *et al.* 2010). Adicionalmente, los SAFs presentan una alta compatibilidad con los patrones culturales de pequeños productores rurales, ya que el productor prefiere las mismas condiciones ecológicas como aquellas en las que se encuentra formando parte del monte bajo de los bosques tropicales.

Los SAFs crean un microclima que amortigua las fluctuaciones de temperatura, manteniendo así el cultivo principal más cerca a sus condiciones óptimas (Nicolls & Altieri 2013). Beer *et al.* (2003) identificaron que los principales beneficios ecosistémicos aportados por los SAFs son el mantenimiento de la fertilidad del suelo a través de la fijación de nitrógeno, reciclaje de nutrientes y reducción de la erosión mediante el aporte de material orgánico al suelo; conservación del agua (cantidad y calidad) al favorecer la infiltración y reducir la escorrentía superficial y captura de carbono, superior a los sistemas agrícolas sin árboles de sombra (Niether *et al.* 2019) y conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados (Tscharntke *et al.* 2011).

Los SAFs enfocados al cultivo del cacao (*Theobroma cacao*) se basan en un diseño que identifica la ubicación de los árboles en las parcelas de producción, el número de plantas de cacao, así como las especies de árboles acompañantes. El tipo y la distribución de las especies seleccionadas para generar sombra pueden afectar el rendimiento y la producción del cacao (Campos 2015). *T. cacao* es una especie umbrófila que requiere de 60 a 70% de sombra durante los primeros cuatro años y de 30 a 40% en plantaciones adultas o en áreas con una estación seca mayor a dos meses (Ortiz & Riascos 2003). Durante la época de floración, *T. cacao* requiere más luz, mientras que el resto del año requiere una mayor cantidad de sombra porque entra en estado de dormancia. Así también, la producción de yemas de *T. cacao* está asociada con la cantidad de luz que penetra el dosel. Por ejemplo, cuando existe poca interceptación de luz a través del dosel, las yemas tienden a surgir en las partes más altas del árbol, mientras que cuando existe una mayor cantidad de luz, las yemas emergen al nivel del suelo y en mayor cantidad (López 2016), facilitando la cosecha de frutos y

aumentando la productividad de las parcelas.

Existe una variabilidad de especies acompañantes que se emplean en los SAFs destinados a la producción de cacao. Especies con diferente estructura foliar (disposición de las hojas) y forma de la copa (abierta o cerrada) son utilizadas para intercalar el tipo de sombra que requiere *T. cacao* durante el año. Entre las especies forestales altamente rentables comúnmente empleadas se encuentran la mara (*Swietenia macrophylla*), el roble (*Amburana cearensis*), el cedro (*Cedrela sp.*), el huasicucho (*Centrolobium ochroxylum*) y la quina quina (*Myroxylon balsamum*). Estas especies poseen copas altas de 20-30 m y relativamente poco extendidas y tienden a generar poca sombra sobre el cacao. Adicionalmente, tienden a crecer lentamente y no afectan el crecimiento a *T. cacao* durante sus primeros años. En contraste, las especies de Inga (Fabaceae, subfamilia Mimosoideae) poseen varios atributos morfológicos generan sombra y favorece el crecimiento de las plantas de *T. cacao*. Por ejemplo, Inga tiende a crecer rápido y sus hojas compuestas rebrotan fácilmente después de una poda, brindando una sombra que se desarrolla más rápido (comunicación personal). Un dosel medio será más efectivo por el alcance de cobertura de su sombra amplia para el cacao.

El género Inga además de generar sombra, enriquece el suelo a través de la fijación de nitrógeno, y como la naturaleza de muchas leguminosas, muchas especies de Inga defoliar, reduciendo así el área de sombra cuando el cacao requiere más luz (comunicación personal). Éste es el caso de Inga spectabilis (Vahl) Willd (Pennington 1997), empleada comúnmente como árbol de sombra en pasturas por su fruto comestible, y otros usos como madera para carbón, leña y construcción. Su adaptabilidad ecológica sugiere que se podría utilizar para agroforestería y en un amplio rango de localidades con condiciones limitantes.

Otras características de Inga son su rápido crecimiento y profusa ramificación, así como su tasa de aporte de follaje al suelo de lenta descomposición, la hacen ideal como especies controladoras de malezas (Pennington 1997). Responde muy bien a la poda y provee abundante materia orgánica de follaje que puede ser utilizada como abono para los cultivos asociados (Pennington 1997). Es muy tolerante a suelos rojos ácidos y coloniza rápidamente en este tipo de medio, lo cual la hace valiosa para programas de reforestación en la Amazonia; por ejemplo, en zonas adyacentes a carreteras recién abiertas en las cuales la vegetación ha sido extraída (Pennington 1997). Todo lo expresado reafirma su excelencia como especie multi-propósito con muchos usos potenciales, remarcando la no dependencia de aplicación de fertilizantes químicos para el óptimo desarrollo del SAF.

En este estudio comparamos el porcentaje de sombra de tres especies de Inga entre los sistemas agroforestales convencionales y orgánicos y, comparamos los caracteres morfométricos entre las especies de Inga. Hipotetizamos que: 1) existen diferencias en la cobertura del dosel la

sombra será mayor en el cultivo convencional por la aplicación de la fertilización que inducirá a un mayor desarrollo de la parte vegetativa del cacao; en comparación con el orgánico y 2) la evaluación de la relación de las especies funcionales en los sistemas agroforestales del género *Inga* en los cultivos de cacao, tomando en cuenta la copa, el diámetro y la altura, mostrará que estos factores morfométricos caracterice la calidad de la sombra.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en la localidad de la estación experimental Sara Ana (15°27' 32"S, 67°28'28"W, 350 m.s.n.m.) ubicada en el Municipio de Alto Beni, Caranavi del departamento de La Paz, Bolivia. Las parcelas del ensayo se encuentran ubicadas a 400 msnm y a una distancia de 0,5 km del campamento de Sara Ana y del río La Paz (Figura 1). El clima se caracteriza por ser cálido y húmedo. Con una temperatura promedio anual de 26,6 °C (Temperatura máxima: 32° C y temperatura mínima 21°C) y una precipitación total de 1518mm (SENAMHI, 2019). La vegetación de la región es bosque siempreverde estacional subandino del suroeste de la Amazonía (Navarro, 2011). Entre los géneros de árboles importantes en el área de estudio se encuentran *Acalypha*, *Alchornea*, *Guatteria*, *Inga*, *Nectandra*, *Persea*, *Solanum* y *Trichilia* (Ibisch et al. 2003 Campos et al. 2010). Adicionalmente existen otras especies económicamente importantes como *Astrocaryum gratum*, *Celtis schippii*, *Pentaplaris davidsmithii*, *Pseudolmedia laevis*, *Attalea princeps*, *Drypetes amazonica*, *Sarcocaulis brasiliensis*, *Terminalia oblonga*, y *Myroxylon balsamum*, entre otros (Campos et al. 2019).

Métodos

Las unidades de muestreo fueron parcelas con dos tipos diferentes de tratamientos de sistemas agroforestales de cacao: Agroforestal Convencional (AFCONV) y Agroforestal Orgánico (AFORG) con cuatro repeticiones (Schneider et al. 2016). Se evaluaron cuatro parcelas de sistema Agroforestal orgánico (AFORG) las cuales se caracterizan por tener un sombreado regular por leguminosas, frutales y maderables. Mientras que las cuatro parcelas de sistema Agroforestal convencional (AFCONV) también con sombreado pero utilizan regularmente empleo de agroquímicos en el manejo del cacao (Sáenz et al. 2010, Schneider et al. 2016).

Se muestrearon un total de ocho parcelas de cultivo de cacao 48 x 48 m. Los árboles de cacao ubicados en las parcelas de ensayo en Sara Ana fueron plantados cada 4 x 4 m, entremezclados con árboles de *Inga spp.* Los cuales están ubicados cada 8 x 8 m, resultando entre 8-24 individuos por parcela. Adicionalmente se encuentran en las parcelas otras especies que acompañan a las anteriores, como huasicucho (*Centrolobium ochroxylum*), asái (*Euterpe precatoria*), mara (*Swietenia macrophylla*), quina (*Myroxylon balsamum*), goma (*Hevea brasiliensis*) y paquí (*Hymenaea courbaril*) (Figura 2), resultando en un sombreado regular por leguminosas, frutales

y maderables (Schneider et al. 2016, Niether et al. 2017).

Se seleccionaron tres especies de *Inga* (*I. ingoides*, *I. spectabilis* y *I. marginata*.) por parcela para la toma de datos morfométricos. Estas especies fueron seleccionadas por su abundancia en las parcelas. El diámetro a la altura del pecho (DAP) se registró a 1,3 m del nivel del suelo. La altura se midió con una regla extensiva desde la base del tronco hasta la copa y el área de la copa se estimó dos lados en forma de cruz con dirección cardinal.

Se estimó la cobertura de dosel utilizando fotografías hemisféricas. Las fotografías fueron tomadas con una cámara digital con un lente ojo de pez. Cada fotografía fue tomada a una distancia de 3,2 m del suelo, por encima del dosel de los árboles de cacao, una por sentido cardinal, en total se tomaron cuatro fotografías por cada individuo de *Inga spp.*, a una distancia de 1 m del tronco. Se realizó la toma de datos en el momento de manejo de la preoda de los árboles de sombra de *Inga*. Las fotografías fueron procesadas utilizando el programa Análisis Informático Gap Light Analyzer-GLA (Frazer et al. 2005), donde se estimó el porcentaje de cobertura de dosel, como una manera indirecta de la cantidad de sombra que reciben los árboles de cacao.

Utilizamos una ANOVA de una vía para determinar si existe diferencias en la cobertura de dosel entre las parcelas agroforestal convencional y agroforestal orgánico. Modelos Lineales Generalizados (MLG) fueron empleados para determinar las relaciones morfométricas (altura total, DAP y área de la copa) en las especies de *Inga*. Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el programa estadístico R. (versión 3.5.3).

Resultados

Los resultados mostraron diferencias no significativas en el porcentaje de dosel cerrado entre las parcelas con manejo orgánico y convencional ($F = 0,91$, $P = 0,34$). El porcentaje promedio de dosel cerrado en parcelas convencionales fue $70,72 \pm 1,18\%$ y en parcelas orgánicas fue $72,39 \pm 1,27\%$; (Figura 3a). Comparaciones en los caracteres morfométricos de las especies de *Inga* presentes en las parcelas de cultivo de *T. cacao* mostraron variaciones intraespecíficas (Tabla 1). En base a los tres caracteres morfométricos medidos se observa que las plantas de *I. ingoides* e *I. marginata* son más grandes que *I. spectabilis*. La altura total promedio de *I. ingoides* fue 9,0 m y la altura total promedio de *I. marginata* fue de 9,8 m, mientras que la altura promedio de *I. spectabilis* fue de 6,1 m, alcanzando alturas máximas de 8,8m.

El análisis morfométrico mostró un incremento lineal en el área de la copa a medida que el DAP incrementa en las tres especies de *Inga* (Tabla 2). Esta relación es particularmente pronunciada en *I. ingoides* e *I. spectabilis* (Figura 3b). De igual manera se observó un incremento lineal en el DAP a medida que la altura total incrementa para las tres especies de *Inga* (Figura 3c) y una relación lineal mente positiva entre la altura y la copa en el caso de *I. ingoides* e *I. spectabilis* (Figura 3d).

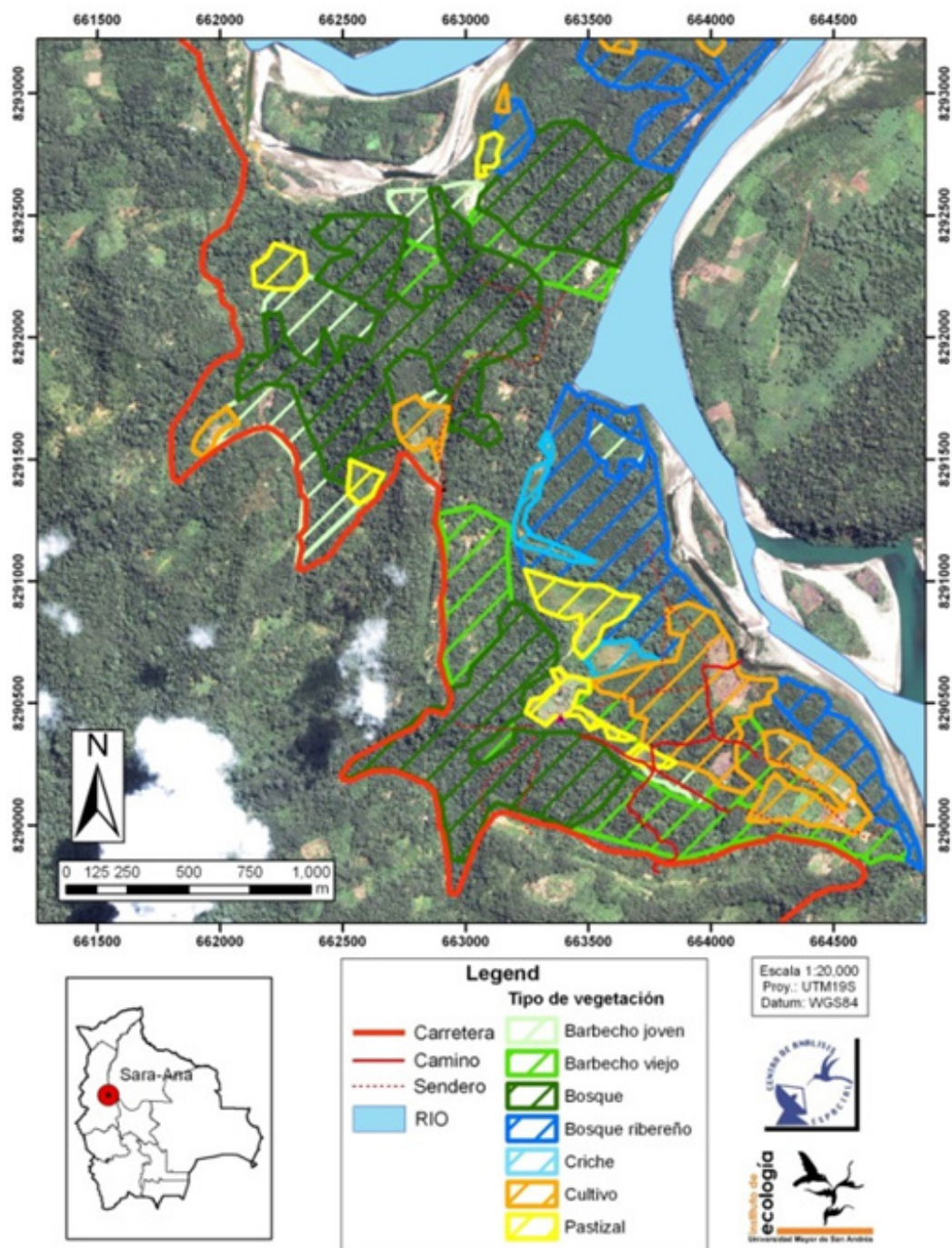


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo, parcelas de ensayo Sara Ana-Alto Beni (Elab. K. Naoki, 2012).

Tabla 1. Características de la estructura de las especies en las parcelas.

Especie	N° Individuos	Dosel Serrado (%)	Promedios		Altura (m)		DAP (cm)		Promedios	
			Altura	Diametro	Min.	Max.	Min.	Max.	Largo_copa1	Largo_copa2
<i>Inga ingoides</i>	28	73	9,0	17,7	4,0	13,5	3,8	22,3	7,8	7,6
<i>inga spetabilis</i>	7	59	6,1	6,51	2,3	8,8	2,1	9,5	2,6	3,4
<i>Inga marginata</i>	5	84	9,8	14,6	7,0	11,5	7,2	18,8	8,2	6,2



Figura 2. Croquis de una parcela agroforestal, ubicación de los forestales/frutales.

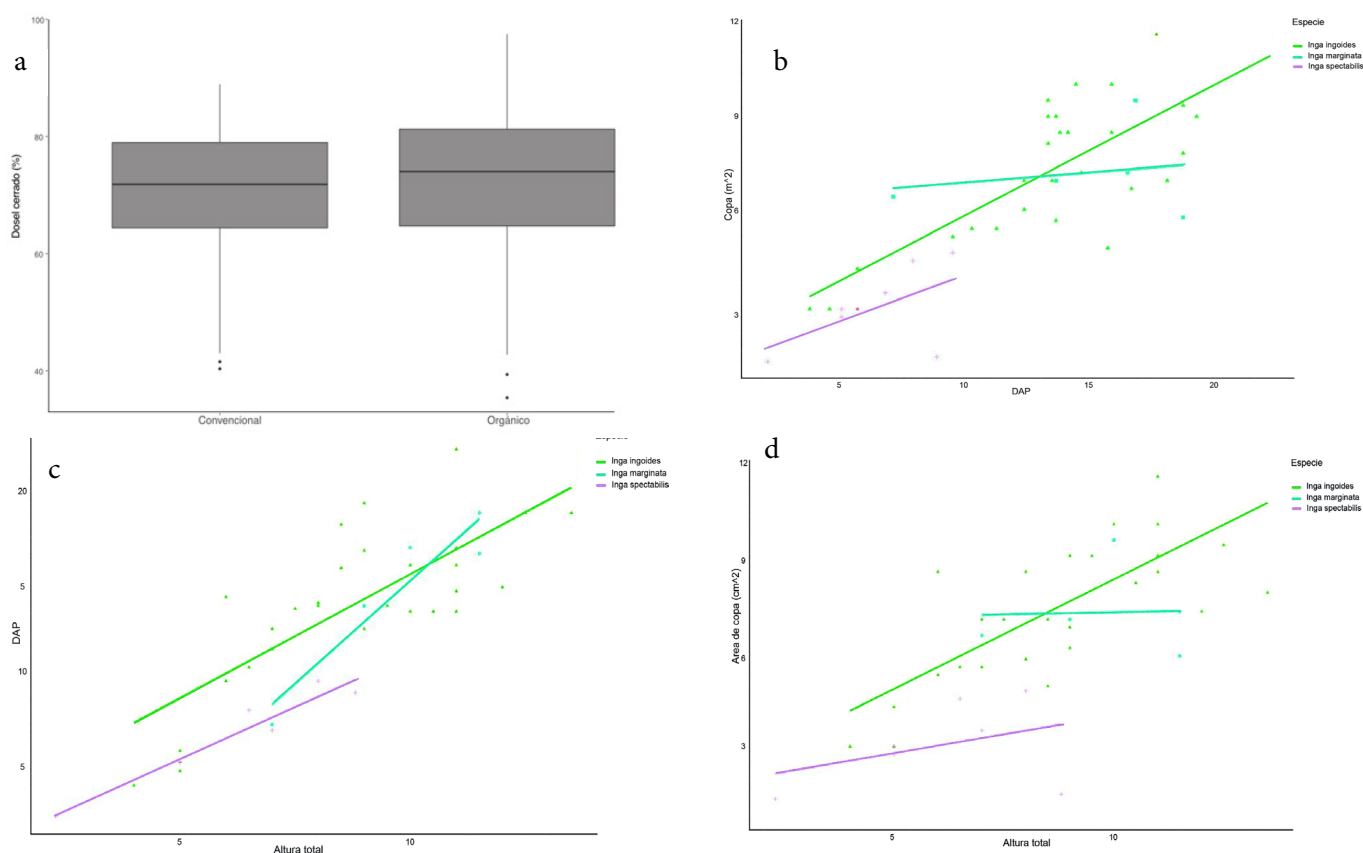


Figura 3. (a) porcentaje de dosel serrado respecto a la sombra de *Inga* spp. y (b, c y d) relación entre los caracteres morfométricos de *Inga ingoides*, *Inga marginata* e *Inga spectabilis* presentes en sistemas agroforestales orgánicos y convencionales en la estación Sara Ana, Bolivia.

Tabla 2. Relación morfométrica en tres especies de *Inga* en parcelas de producción de cacao en Sara Ana, La Paz.

Especie	Model	R2	P
<i>Inga ingoides</i>	DAP = $2,77+2,77 * \text{altura}$	0,58	< 0,0001
	Copa = $2,55+0,56 * \text{altura}$	0,4	< 0,0001
	Copa = $3,1 +0,32 * \text{DAP}$	0,38	< 0,0001
<i>Inga marginata</i>	DAP = $-7,6+2,26 * \text{altura}$	0,85	0,016
	Copa = $6,96+0,2 * \text{altura}$	-0,33	0,95
	Copa = $6,32+0,06*\text{DAP}$	-0,3	0,74
<i>Inga spectabilis</i>	DAP = $-0,45+1,14 * \text{altura}$	0,91	<0,0001
	Copa = $1,6+0,23 * \text{altura}$	-0,01	0,38
	Copa = $1,2+0,3 * \text{DAP}$	0,18	0,18

Discusión

El género *Inga* es un grupo con alta diversidad de especies en Perú (91 especies), Ecuador (75 especies) y Bolivia (81 especies) (Pennington 1997). *Inga* es un género económicamente importante y las especies son comúnmente empleadas en sistemas agroforestales tropicales porque proveen sombra, enriquecen los suelos y son fuente de leña y frutos comestibles (Pennington 1997).

Los resultados de este estudio mostraron que *Inga* puede ser utilizada como especies acompañantes para generar sombra. La selección de la especie también está sujeta a los requerimientos de sombra de las plantas de *T. cacao*. Por ejemplo, los árboles de *I. ingoides* e *I. marginata* poseen amplias copas y podrían ser usados preferencialmente para promover el crecimiento de plántulas de *T. cacao*. En contraste, los árboles de *I. spectabilis* podrían ser plantados en parcelas que poseen árboles adultos de *T. cacao*, cuyo requerimiento de sombra es comparativamente menor.

En este estudio no encontramos diferencias significativas en la proporción de sombra entre las parcelas bajo un sistema de manejo convencional y un sistema de manejo orgánico. Los resultados sugieren que el vigor de las especies *Inga* podría ser que no está afectada por la aplicación de agroquímicos en las parcelas con manejo convencional. Resaltamos la importancia de *Inga* para los sistemas agroforestales porque posee la capacidad de fijar nitrógeno en el suelo y transformarlo en un macronutriente disponible para las plantas de *T. cacao*. Todas las especies de *Inga* producen nódulos en las raíces los cuales contienen bacterias fijadoras de nitrógeno hongos micorrízicos (Valle 2019).

La fijación de nitrógeno provee abono orgánico con alto contenido de nitrógeno, así como de otros nutrientes, y las asociaciones con micorrizas probablemente permiten a la planta *Inga* reciclar el fósforo, uno de los mayores nutrientes limitados en el ecosistema del bosque tropical lluvioso (Valle 2019). Campos (2015) estudió la eficacia de sombra en 6 especies de *Inga* spp. Encontrando que

la *I. spectabilis* tiene la mejor eficacia de sombra para el cacao, lo cual se vuelve a comprobar en este estudio. La cantidad de luz recibida en los cultivos de *T. cacao* está relacionada directamente con la cobertura del dosel y esta tiene impactos importantes en el crecimiento de *T. cacao*. Por ejemplo, estudios realizados por Schneider *et al.* (2016) mostraron que los árboles de *T. cacao* que crecen conjuntamente con *Musa paradisiaca* tienden a crecer en altura y desarrollar troncos delgados, *T. cacao* desarrolla troncos más gruesos después de una poda drástica de dosel.

Esto sugiere que las plantas invierten energía para desarrollarse en altura para poder alcanzar el dosel, pero invierten en desarrollar un tronco más grueso cuando la luz deja de ser un factor limitante. Este estudio resalta la importancia de seleccionar especies acompañantes generadoras de sombra que se adecuen a las necesidades biológicas de *T. cacao* y a los requerimientos para la optimización de la producción de sombra.

Económicamente los árboles de *T. cacao* gruesos y pequeños son preferidos porque son más fáciles de podar y cosechar y no se requiere herramientas especializadas y exponen mayor peligro para el productor en el manejo. Por otro lado, la caída de árboles altos puede producir daños a los individuos cercanos, afectando la productividad de las parcelas de producción (Meléndez 1991). En este estudio resaltamos la importancia de las especies de *Inga* porque incluyen árboles de porte mediano, crecimiento relativamente rápido y con poder de prendimiento y rebrote. La poda selectiva de individuos de *Inga* favorece a la producción de cacao porque los residuos del follaje pueden proveer nutrientes adicionales al suelo (Schneidewind *et al.* 2019).

Dávila (2014) muestra que la diversidad de especies maderables y frutales utilizadas en los SAFs de cacao en el sur-occidente de Guatemala es determinante en el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea, puesto que la capacidad de captura de carbono está asociada con el tamaño y edad de los árboles. Otro factor importante

para el empleo de especies acompañantes, así los árboles de desarrollo más rápido donde alcanzan un diámetro y altura mayor en más corto tiempo seguro resultarán más útiles para el incremento de secuestro de carbono: Así, *Inga ingoides* con su desarrollo dasométrico más rápido sería una de las especies óptimas reforzando la razón de su empleo en parcelas con sistemas agroforestales.

Conclusiones

Este estudio resalta la importancia del empleo de especies de *Inga* para generar sombra y promover el crecimiento y producción de *T.cacao*. La apertura del porcentaje de dosel entre parcelas bajo manejo convencional y parcelas orgánicas fue similar, sugiriendo que la aplicación de agroquímicos en las parcelas convencionales no afectaría de forma significativa a la vitalidad de los árboles de *Inga*. El análisis morfométrico de tres especies de *Inga* (*I. ingoides*, *I. marginata* e *I. spectabilis*) mostró diferencias intraespecíficas, donde *I. marginata* e *I. ingoides* poseen copas más amplias en comparación a *I. spectabilis*. Estos resultados sugieren que la selección de especies de *Inga* depende del tipo de manejo y los requerimientos de luz de las plantas de cacao.

Bibliografía

- Álvarez-Carrillo, F., J. Rojas-Molina & J.C. Suárez Salazar. 2012. Simulación de arreglos agroforestales de cacao como una estrategia de diagnóstico y planificación para productores. *Rev. Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 13(2), 145-150.
- Beer, J., Harvey, C., Ibrahim, M., Harmand, J.M., Somarriba, E. & Jiménez F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas*. Vol. 10 N° 37-28 2003. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Campos, C., 2015. Eficacia de sombra de las especies acompañantes (*Inga* spp.) en los sistemas agroforestales de cultivos de cacao (*Theobroma cacao*) y evaluación del nivel adaptativo de los agricultores en la región Alto Beni-Bolivia.
- Tesis de Maestría, Universidad Internacional de España (UNIA), España.
- Campos C, R Seidel, N. Chapi, S. Paredes, O. Plata & V. Torrez. 2019. Características de la vegetación leñosa del bosque de Sara Ana, Alto Beni. Informe.
- Dávila, H. 2014. Estimación de la cantidad de carbono almacenado en los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*), en los departamentos de Suchitepequez, y Retalhuleu, del sur occidente de Guatemala. C. A. Tesis de grado. Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Ibisch, P.L., S.G. Beck, B. Gerkmann & A. Carretero, 2003. Ecoregiones y ecosistemas. En: Ibisch, P.L. & G. Mérida (eds.) 2003. Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Estado de conocimiento y conservación. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Editorial FAN, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Pp. 47-88.
- Lizeca, J.L. & F. Zapata, 2006. Cuantificación geográfica y evaluación de los suelos para los cultivos de cacao en la región de Alto Beni de los Yungas de La Paz. Proyecto GLEAM-Sistema de Evaluación y Administración Integrada del Uso de la Tierra. La Paz.
- López S., Sol-Sánchez A., Córdova V., & F. Gallardo, 2016. Efecto de la poda en plantaciones de cacao en el estado de Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. México, N°14.2807- 2815.
- Meléndez, L., 1991. Sombras temporales para el cacao. Seminario Regional Sombra y cultivos asociados con cacao. Serie Técnica, Informe Técnico. CATIE 206. Turrialba, Costa Rica.
- Navarro, G., 2011. Clasificación de la vegetación de Bolivia. Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño. Santa Cruz, Bolivia.
- Consuelo Campos Villanueva, Alejandra Domic, Renate Seidel, Wiebke Niether & Monika Schneider Schneider, M., C. Andres, G. Trujillo, F. Alcon, E. Amurrio, E. Perez, F. Weibel, F. & J. Milz, 2016. Cocoa and total system yields of organic and conventional agroforestry vs. monoculture systems in a long-term field trial in Bolivia. *Experimental Agriculture*, 53 (3): 351-374.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) 2019. SisMet: base de datos oficial del SENAMHI. <http://www.senamhi.gob.bo/sismet/index.php> p. Accedido el 19 de septiembre de 2019.
- Tschamtké, T., Clough, Y., Bhagwat, S.A., Buchori, D., Faust, H., Hertel, D., Hölscher, D., Jührbandt, J., Kessler, M., Perfecto, I., Scherber, C., Schroth, G., Veldkamp, E., Wanger, T.C., 2011. Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes – a review. *Journal of Applied Ecology* 48: 619–629.
- Valle, G. 2019. Manual agroforestal del *Inga* (*Inga edulis*). Rainforest Saver. <https://www.rainforestsaver.org/es/manualagroforestaldel-inga>
- Willkes H, 2006. Guía metodológica para la implementación, el Manejo y el Aprovechamiento de Sistemas Agroforestales. Servicio Alemán de Cooperación Social Técnica. CENFOTEC Industrial. La Paz, Bolivia
- Nicholls C.I. & M.A. Altieri, 2013. Agroecología y cambio climático. Metodologías para evaluar la resiliencia socioecológica en comunidades rurales. Red Adscrita al Programa Iberoamericano de Ciencia y tecnología para el Desarrollo (CYTED). Perú.
- Niether, W., L. Armengot, C. Andres & M. Schneider, 2017. Modifying microenvironmental growing conditions for the cacao tree by shade tree pruning. *International Symposium on Cocoa Research (ISCR)*, Lima, Perú.
- Niether, W., Schneidewind, U., Fuchs, M., Schneider, M., Armengot, L. 2019. Below and aboveground production in cocoa monocultures and agroforestry systems. *Science of the Total Environment* 657: 558-567.
- Ortiz A. & L. Riascos. 2003. Almacenamiento y fijación de carbono de Sistemas Agroforestal cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*) en la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica. CATIE, Costa Rica.
- Pennington, T.D. & C. Reynel, 1997. El género *Inga* en el Perú. Morfología, distribución y usos. Royal Botanical Gardens. Kew, Inglaterra. Programa Gap Light analyzer: <http://remmain.rem.sfu.ca/downloads/Forestry/GLAV2UsersManual.pdf>
- R Foundation for statistical computing 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.
- Sáenz, R. J. T.; González T. J. A.; Jiménez O. J.; Larios G. A.; Gallardo V. M.; Villaseñor R.F. J. e Ibáñez R. C. 2010. Alternativas agroforestales para reconversión de suelos forestales. Folleto Técnico Núm. 18. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México.

Artículo original

Tres décadas y medio de cambio de cobertura y uso de suelo en un área protegida del sur de Bolivia

Three and a half decades of cover and land use change in a protected area in southern Bolivia

Reinaldo Lozano Ajata ^{1*} & Edwin Machaca Mamani ²

*Autor de Correspondencia: lozano.reinaldo@usfx.bo

¹ Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Casilla postal 1046, Calle Calvo N° 132, Sucre- Bolivia.

² Instituto de Investigaciones Geográficas, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz-Bolivia

Recibido: 01/11/2024 Aceptado para publicación: 01/12/2024

Resumen

Para evaluar los cambios en la cobertura y uso del suelo en el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Serranía del Iñaño (PN-ANMI) en el sur de Bolivia, se emplearon datos de MapBiomias y análisis espacio-temporal para apoyar el manejo y monitoreo del área protegida. Con imágenes Landsat procesadas mediante el algoritmo Random Forest en la plataforma MapBiomias (versión 3.0), se generaron mapas para el período 1985-2020, validados con datos de campo y herramientas como Google Earth. Las principales macroclases identificadas fueron Formación Forestal (FFOR), Otra Formación Natural no Forestal (OFNF), Uso Agropecuario (UAGR), Infraestructura Urbana (IURB), Otra Área sin Vegetación (OASV) y Río (CUAG). En 35 años, las superficies agrícolas crecieron significativamente, mientras las áreas boscosas disminuyeron en 2.49 km². La clase IURB mostró un leve aumento, y CUAG sufrió pérdidas menores a 0.05 km². En contraste, OFNF y OASV se mantuvieron estables, reflejando patrones diferenciados de transformación en esta área protegida.

Palabras clave: análisis multitemporal, MapBiomias, pérdida de bosques, monitoreo ambiental

Abstract

To assess changes in land cover and land use in the Serranía del Iñaño National Park and Integrated Management Natural Area (PN-ANMI) in southern Bolivia, MapBiomias data and spatiotemporal analysis were utilized to support the management and monitoring of the protected area. Landsat images processed using the Random Forest algorithm on the MapBiomias platform (version 3.0) were used to generate maps for the 1985–2020 period, validated with field data and tools such as Google Earth. The main macroclasses identified included Forest Formation (FFOR), Other Non-Forest Natural Formation (OFNF), Agricultural Use (UAGR), Urban Infrastructure (IURB), Other Non-Vegetated Area (OASV), and Water Body (CUAG). Over 35 years, agricultural areas expanded significantly, while forested areas decreased by 2.49 km². The IURB class showed a slight increase, while CUAG experienced losses of less than 0.05 km². In contrast, OFNF and OASV remained virtually unchanged, reflecting distinct patterns of landscape transformation within this protected area.

Keywords: multitemporal analysis, MapBiomias, forest loss, environmental monitoring

Introducción

El estudio de la cobertura y uso del suelo es fundamental para comprender las dinámicas de cambio en los ecosistemas y evaluar el impacto de las actividades humanas y fenómenos naturales sobre ellos. Estas investigaciones contribuyen al monitoreo de ecosistemas, al diseño de estrategias de conservación y restauración, y a la mitigación de los efectos adversos asociados con la deforestación y el cambio en el uso del suelo, especialmente en regiones amenazadas por la pérdida de biodiversidad (Velastegui-Montoya et al., 2020). Además, permiten identificar patrones emergentes que guían el diseño de políticas para fomentar el desarrollo sostenible.

Herramientas como Google Earth Engine (GEE) han revolucionado los análisis geospaciales al procesar grandes volúmenes de datos satelitales en una plataforma basada en la nube. GEE se ha consolidado como un recurso esencial para el monitoreo ambiental global, facilitando el análisis de cambios en la cobertura terrestre, la modelización de impactos climáticos y la evaluación de procesos ecológicos a escala global (Gorelick et al., 2017). Su capacidad para integrar datos de múltiples sensores y generar análisis multitemporales ha demostrado ser invaluable en aplicaciones como la evaluación de desastres naturales, la planificación ambiental sostenible, y la gestión agrícola (Bazzato et al., 2022; Kurnianto et al., 2024; Imtiaz et al., 2024; Mengistu et al., 2024). Esta versatilidad subraya la importancia de la colaboración interdisciplinaria y el acceso abierto a datos para abordar los desafíos ambientales globales (Brown et al., 2022; Caron et al., 2021).

En este contexto, la iniciativa MapBiomass surge como una herramienta innovadora para mapear y monitorear anualmente los cambios en la cobertura y uso del suelo en Sudamérica, donde la presión sobre los ecosistemas es alta (Baesa et al., 2022). Este proyecto utiliza imágenes Landsat procesadas con algoritmos de aprendizaje automático en GEE para generar mapas precisos y de acceso público, promoviendo la transparencia y facilitando su uso en investigaciones científicas y la gestión ambiental (Souza et al., 2020; Câmara et al., 2021; MapBiomass, 2023). Aunque MapBiomass ha demostrado ser eficaz en el monitoreo de ecosistemas tropicales, su aplicación en bosques montanos sigue siendo limitada (Caron et al., 2021; Brien et al., 2015), lo que resalta la necesidad de expandir su alcance a estas regiones.

Este estudio aborda dicha brecha al analizar los cambios en la cobertura y uso del suelo en el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Serranía del Iñao, en Bolivia. Utilizando datos multitemporales generados por MapBiomass, esta investigación integra dimensiones espaciales y temporales para evaluar de manera precisa las transformaciones en el área protegida, proporcionando información clave para su manejo y monitoreo efectivo.

Materiales y métodos

Área de Estudio

La investigación se llevó a cabo en los bosques semi-

húmedos de la Cordillera Oriental de los Andes, en Bolivia, específicamente en el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado (PN-ANMI) Serranía del Iñao. Esta área protegida se encuentra en el departamento de Chuquisaca (Figura 1), en las coordenadas 19°25'30"S y 63°55'12"W. Su geografía incluye serranías paralelas con estilo tectónico predominantemente isoclinal, situadas por debajo de los 2000 m de altitud en promedio (Navarro & Maldonado, 2002; Serrano, 2003). Los cursos de agua de la región desembocan en la cuenca del río Grande (Navarro & Maldonado, 2002). Según Killeen et al. (1993), esta área registra las mayores precipitaciones anuales de Chuquisaca (1000 a 1700 mm por año), con un período seco de 3 a 5 meses. La temperatura promedio anual varía según los pisos altitudinales.

Características ecológicas

La vegetación del PN-ANMI Serranía del Iñao incluye principalmente bosques siempre verdes con un dosel de 25-30 m de altura. En áreas no alteradas predominan especies como *Blepharocalyx salicifolius* (palo borracho), *Myrcianthes pseudo-mato* (mato), *Cinnamomum porphyria* (laurel) y *Cedrela lilloi* (cedro). En las cabeceras de los valles húmedos se encuentran bosques de *Alnus acuminata* spp. *acuminata* (aliso) y *Podocarpus parlatorei* (pino de monte). En las laderas más xéricas destacan los bosquecillos abiertos de *Polylepis bessery* (Lieberman, 1991; Killeen et al., 1993).

Obtención de datos espaciales

El análisis de cobertura y uso del suelo se realizó con datos proporcionados por el proyecto MapBiomass, colección 1 (versión 3.0, <http://mapbiomas.org>), que ofrece información espacial y temporal del período 1985-2020. Las imágenes fueron obtenidas de satélites Landsat, procesadas en formato ráster, y generaron mapas de cobertura y uso del suelo a intervalos de cinco años (1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020). El procesamiento se realizó con ArcGIS 10.8, la precisión de los mapas fue validada mediante observaciones de campo y comparaciones con herramientas como Google Earth y ArcGIS Earth Basemap. Para esto, se aplicó un muestreo por tipo de clase, seleccionando 20 puntos por clase, con un total de 120 puntos de validación.

Estadística descriptiva

Se utilizó estadística descriptiva para evaluar los cambios en la cobertura y el uso del suelo, siguiendo la metodología descrita por Kamaraj y Rangarajan (2022). Los resultados se presentaron en formato tabular, utilizando Microsoft Office 2019, mostrando el tamaño (fracción del área) de cada categoría de uso del suelo y los porcentajes correspondientes de cambio a lo largo del período de estudio. Esta representación permitió identificar y describir las tendencias y transformaciones ocurridas en el área protegida durante las tres décadas y media analizadas.

Resultados

El análisis multitemporal de 35 años permitió evaluar detalladamente las dinámicas de cobertura y uso del

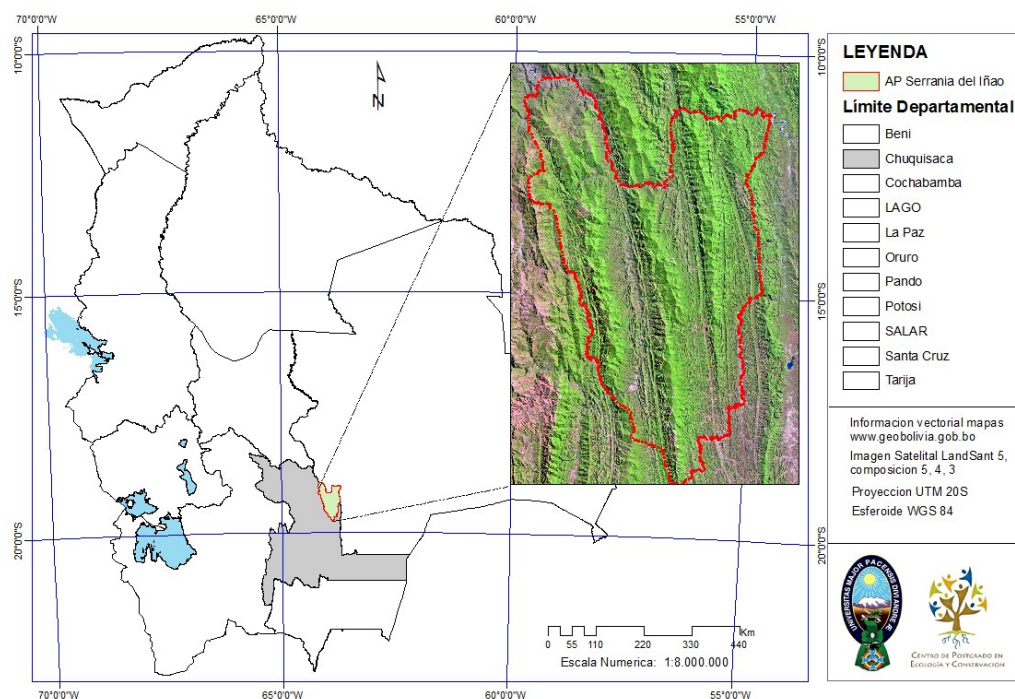


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio Parque Nacional Área Natural de Manejo Integrado (PN-ANMI) Serranía del Iñao.

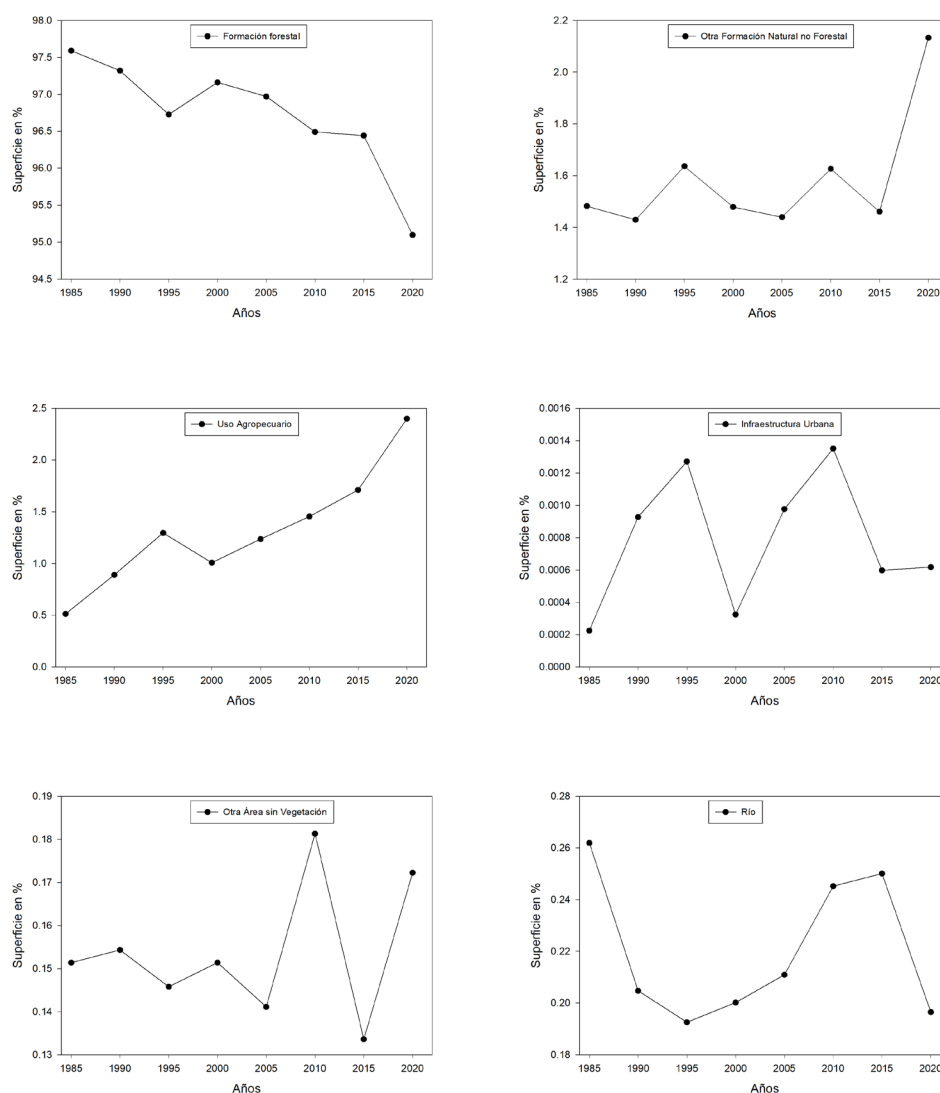


Figura 2. Clase espectral por tipo de cobertura y uso 1985- 2020.

suelo en el PN ANMI Serranía del Iñao. Las macroclases principales incluyeron Formación Forestal (FFOR), Otra Formación Natural no Forestal (OFNF), Uso Agropecuario (UAGR), Infraestructura Urbana (IURB), Otra Área sin Vegetación (OASV) y Cuerpos de Agua (CUAG) (Tabla 1). Estas categorías facilitaron una comprensión completa de las transformaciones espaciales y temporales en el área protegida.

Entre 1985 y 2020, la clase FFOR presentó una disminución constante en superficie (Figura 1), con una pérdida acumulada de 2.49 km², mientras que UAGR mostró un aumento progresivo. Por el contrario, OFNF, IURB, OASV y CUAG mantuvieron variaciones menores, con incrementos o pérdidas poco significativas, inferiores

a 1 km² (Tabla 2, Figura 2). En particular, CUAG mostró la mayor reducción durante el período 1985-1990, con una pérdida de más de 0.05 km², pero presentó menores disminuciones (< 0.02 km²) en los periodos siguientes.

En términos de ganancias y pérdidas de cobertura (Tabla 3, Figura 3), UAGR e IURB fueron las clases con mayores incrementos, mientras que FFOR evidenció un declive continuo, reflejando presiones antropogénicas consistentes en el tiempo. Las otras macroclases (OFNF y OASV) tuvieron oscilaciones marginales que no afectaron significativamente la estructura general de la cobertura del suelo.

Tabla 1. Clase de cobertura y uso según MapBiomass del Parque Nacional Área Natural de Manejo Integrado (PN-ANMI) Serranía del Iñao.

Cobertura y uso	Código	ID	Color
Formación forestal	FFOR	3	
Otra Formación Natural no Forestal	OFNF	13	
Uso Agropecuario	UAGR	14	
Infraestructura Urbana	IURB	24	
Otra Área sin Vegetación	OASV	25	
Río	CUAG	33	

Tabla 2. Distribución absoluta (km²) y porcentual de la cobertura y uso del suelo Parque Nacional Área Natural de Manejo Integrado (PN-ANMI) Serranía del Iñao (1985-2020).

Clase	Año 1985		Año 1990		Año 1995		Año 2000		Año 2005		Año 2010		Año 2015		Año 2020	
	km ²	(%)	km ²	(%)	km ²	(%)	km ²	(%)	km ²	(%)	km ²	(%)	km ²	(%)	km ²	(%)
FFOR	2567.57	97.59	2560.45	97.32	2544.84	96.73	2556.23	97.16	2551.24	96.97	2538.6	96.49	2537.36	96.44	2501.9	95.1
OFNF	39.01	1.48	37.62	1.43	43.07	1.64	38.91	1.48	37.89	1.44	42.8	1.63	38.44	1.46	56.13	2.13
UAGR	13.49	0.51	23.4	0.89	34.1	1.3	26.5	1.01	32.51	1.24	38.25	1.45	45.03	1.71	63.15	2.4
IURB	0.01	0	0.02	0	0.03	0	0.01	0	0.03	0	0.04	0	0.02	0	0.02	0
OASV	3.98	0.15	4.06	0.15	3.84	0.15	3.98	0.15	3.71	0.14	4.77	0.18	3.52	0.13	4.53	0.17
CUAG	6.89	0.26	5.39	0.2	5.07	0.19	5.27	0.2	5.55	0.21	6.45	0.25	6.58	0.25	5.17	0.2
TOTAL	2630.94	100	2630.94	100	2630.94	100	2630.9	100	2630.93	100	2630.91	100	2630.93	100	2630.9	100

Tabla 3. Ganancia y pérdida de cobertura y uso del suelo (Km²) Parque Nacional Área Natural de Manejo Integrado (PN-ANMI) Serranía del Iñao.

Año/Clase	FFOR	OFNF	UAGR	IURB	OASV	CUAG
1985-1990	-0.27	-0.05	0.38	0.00	0.00	-0.06
1985-1995	-0.86	0.15	0.78	0.00	-0.01	-0.07
1985-2000	-0.43	0.00	0.49	0.00	0.00	-0.06
1985-2005	-0.62	-0.04	0.72	0.00	-0.01	-0.05
1985-2010	-1.10	0.14	0.94	0.00	0.03	-0.02
1985-2015	-1.15	-0.02	1.20	0.00	-0.02	-0.01
1985-2020	-2.49	0.65	1.89	0.00	0.02	-0.07

Donde: FFOR= Formación forestal, OFNF= Otra Formación Natural no Forestal, UAGR= Uso Agropecuario, IURB= Infraestructura Urbana, OASV= Otra Área sin Vegetación, CUAG= Río.

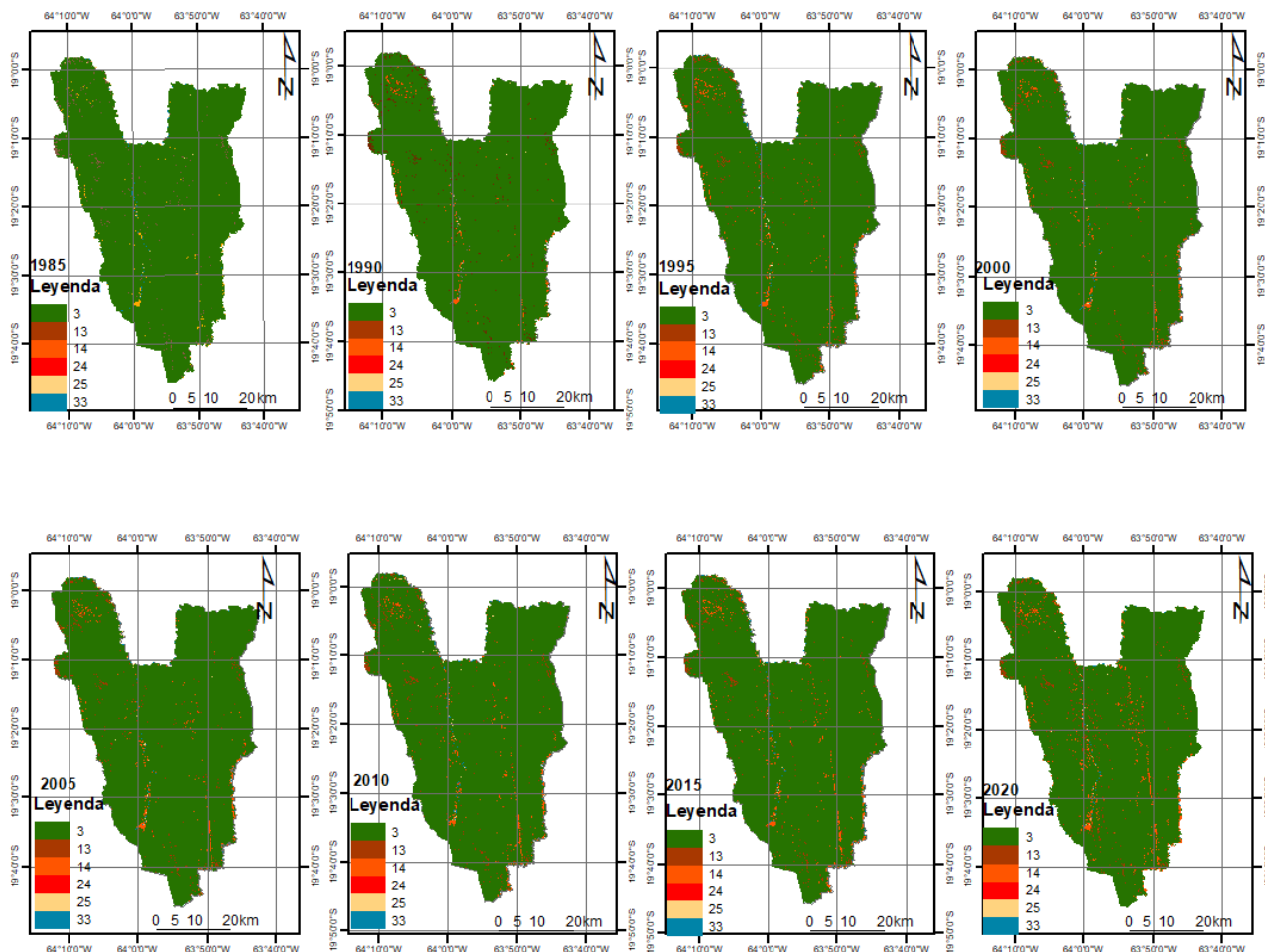


Figura 3. Coberturas y uso en los períodos de tiempo 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020.

Discusión

Los resultados reflejan patrones similares a los reportados en otras áreas protegidas de América Latina, donde la expansión agrícola y la deforestación predominan como las principales causas de cambio en zonas montañosas biodiversas (Müller et al., 2014; Pinto et al., 2010). En este estudio, la disminución de FFOR y el incremento de UAGR coinciden con tendencias observadas en regiones como el Amazonas boliviano, donde la agricultura y el uso intensivo del suelo impulsan transformaciones significativas (Peralta-Iviero et al., 2013; Killeen et al., 2005).

La metodología empleada, basada en imágenes Landsat y el algoritmo Random Forest a través de MapBiomias, demostró ser efectiva para analizar cambios multitemporales de manera automatizada y confiable. MapBiomias ofrece ventajas sobre plataformas como MODIS o SPOT, que suelen presentar limitaciones en resolución espacial o temporal (He et al., 2014; Gebresamuel et al., 2010). Sin embargo, otros enfoques, como el uso de algoritmos avanzados como Support Vector Machines y la integración de imágenes de mayor resolución, podrían mejorar aún más la precisión en áreas complejas (Fonúrbel, 2007; Peñaranda, 2010).

A pesar de los avances, el estudio tiene limitaciones,

como la dependencia de datos remotos y clasificaciones automatizadas. Esto subraya la importancia de incorporar validaciones extensivas en campo y datos climáticos para captar las interacciones entre factores antrópicos y la variabilidad ambiental (Marsik et al., 2011; Mas et al., 2009). Asimismo, la resolución temporal de cinco años podría no captar dinámicas más rápidas o graduales en ecosistemas sensibles.

Conclusiones

El análisis multitemporal realizado mediante MapBiomias demostró ser una herramienta eficiente para evaluar cambios de cobertura y uso del suelo en el PNNMI Serranía del Iñao, identificando patrones significativos de transformación en un periodo de 35 años. Sin embargo, se recomienda la incorporación de sensores de mayor resolución espacial y temporal, así como la realización de validaciones de campo más frecuentes, para mejorar la precisión y abordar las complejidades inherentes a los ecosistemas montañosos. Este enfoque permitirá fortalecer estrategias de manejo sostenible y monitoreo en áreas protegidas de alta biodiversidad.

Bibliografía

Baesa, R., González, R., y García, A. (2022). MapBiomias: Innovaciones en el mapeo y monitoreo de la cobertura terrestre en Sudamérica. *Revista de Geografía y Medio Ambiente*, 10(3), 255-270.

- Barbati, A., Corona, P., y Marchetti, M. (2014). Global forest monitoring systems: Strengths, weaknesses, and the potential of using remote sensing. *Forest Ecology and Management*, 313, 57-70.
- Bazzato, E., Ceccherini, G., y Montanari, F. (2022). Analysis of volcanic deposits using remote sensing data: A case study on Semeru Volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 416, 107309.
- Belgiu, M., y Drăguț, L. (2016). Landsat image classification using random forest for land use/land cover mapping. *Remote Sensing*, 8(3), 263-278.
- Brienen, R. J., Girardin, C. A., y Phillips, O. L. (2015). Estimating forest carbon stock changes in the Amazon: Comparison of methods and the effects of forest degradation. *Global Change Biology*, 21(1), 370-379.
- Brown, C., Ryan, D., y Mahony, T. (2022). Integrating Earth observation data for sustainable development. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 28, 103-118.
- Câmara, G., Maciel, A., Gomes, V., y Carvalho, A. (2021). Advances in big earth observation data analysis with MapBiomas and Google Earth Engine. *International Journal of Remote Sensing*, 42(2), 345-361.
- Canadell, J. G., y Raupach, M. R. (2008). Managing forests for climate change mitigation. *Science*, 320(5882), 1456-1459.
- Caron, P., Leclerc, G., y Mansourian, S. (2021). Landscape-scale monitoring of tropical forests using Google Earth Engine. *Forests*, 12(3), 456-469.
- Ceccherini, G., Gobron, N., y Pugh, T. (2023). Multisensor analysis of volcanic activity using Google Earth Engine. *Earth Systems Science Data*, 15(3), 1347-1358.
- Chi, H., Liang, S., y Yu, W. (2016). A review on Google Earth Engine applications in land use studies. *Remote Sensing Letters*, 7(9), 856-862.
- Fonúrbel, M. (2007). Aplicación de imágenes satelitales para el análisis de cambios en la cobertura terrestre (Tesis de Maestría). Universidad de Chile.
- Gebresamuel, G., Hager, A., y Keesstra, S. (2010). Análisis de la precisión en la clasificación de coberturas utilizando MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 114(7), 1421-1434.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., y Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., y Tyukavina, A. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850-853.
- He, C., Liu, X., y Wang, X. (2014). Aplicación de Random Forest en el análisis de cambios de uso de suelo a partir de imágenes satelitales. *Journal of Applied Remote Sensing*, 8(1), 1-14.
- Imtiaz, S., Ali, S., y Rahman, M. (2024). Estimation of crop soil moisture using remote sensing techniques. *Agriculture and Water Management*, 156, 345-356.
- Kamaraj, M., y Rangarajan, S. (2022). Predicting the future land use and land cover changes for Bhavani basin, Tamil Nadu, India, using QGIS MOLUSCE plugin. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 86337-86348. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17904-6>
- Killeen, T. J., Soria, L., y Calderón, V. (2005). Análisis de la deforestación en el Amazonas boliviano: factores y tendencias. *Ecology and Society*, 10(2), 22-45.
- Killeen, T. J., Villegas, Z., Soria, L., y Soares-Filho, B. (1993). Guía de Árboles de Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia – Missouri Botanical Garden, Ed. Quipus Srl.
- Kurnianto, M., Suwarno, A., y Setiawan, B. (2024). Pyroclastic flow mapping using multisensor integration in Google Earth Engine. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 12, 34-56.
- Liberman, M. C. (1991). Situación ambiental de Bolivia. En CIEDLA (Ed.), *La situación ambiental en América Latina, algunos estudios de caso* (pp. 77-140). Impreso en Balada-Buschi S. A.
- MapBiomas. (2023). About MapBiomas. Recuperado de <https://mapbiomas.org>
- Marsik, M., Garcés, A., y Huaraca, H. (2011). El uso de sensores multiespectrales en el monitoreo de cambios en la vegetación de regiones tropicales. *International Journal of Remote Sensing*, 32(6), 1517-1536.
- Mas, J.-F., y Velázquez, A. (2009). Monitoreo de cambios en el uso del suelo en áreas protegidas mediante análisis de imágenes satelitales. *Geocarto International*, 24(6), 459-470.
- Mengistu, T., Yeshitila, M., y Desta, L. (2024). Mapping honeybee forage classes using ensemble learning. *Remote Sensing of Environment*, 302, 156-172.
- Müller, H., Pohl, C., y Kusters, K. (2014). Impacto de la expansión agrícola en las zonas montañosas de alta biodiversidad en América Latina. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(7), 4167-4183.
- Navarro, G., y Ferreira, W. (2004). Zonas de vegetación potencial de Bolivia: una base para el análisis de vacíos de conservación. *Revista Boliviana de Ecología*, 15, 1-40.
- Navarro, G., y Maldonado, L. (2002). Zonas de vegetación de la Cordillera Oriental de los Andes en Bolivia. Editorial de la Universidad Mayor de San Andrés.
- Peñaranda, J. A. (2010). Análisis cuantitativo del cambio de cobertura vegetal – forestal en una cronosecuencia de 22 años (1988 - 2008) en el PN-ANMI Serranía del Iñaño, Bolivia (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ciencias Agrarias, Chuquisaca, Bolivia.
- Peralta-Rivero, L., Barbosa, A., y Ríos, M. (2013). La expansión agrícola y la deforestación en la región amazónica de Bolivia. *Environmental Conservation*, 40(3), 255-263.
- Pinto, J. R., Hernández, A. G., y López, P. (2010). Dinámicas de cambio de uso de suelo en América Latina y sus implicaciones para la biodiversidad. *Global Ecology and Biogeography*, 19(5), 603-611.
- Serrano, M. (2003). Estructura y composición de bosques montanos subtropicales y sus implicaciones para la conservación y el manejo de los recursos forestales en la Serranía del Iñaño, Bolivia (Tesis de Maestría). CATIE, Turrialba, CR.
- Souza, C. M., Shimbo, J. Z., Rosa, M. R., Parente, L. L., Alencar, A. A., Rudorff, B. F. T., y Matsumoto, M. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with MapBiomas. *Scientific Data*, 7, 1-11.
- Velastegui-Montoya, A., Lima, A. D., & Adami, M. (2020). Multitemporal analysis of deforestation in response to the construction of the Tucuruí Dam. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(10), 583. <https://doi.org/10.3390/ijgi9100583>

Artículo original

Calidad fisiológica y sanitaria de semillas de maíz (*Zea mays*) cultivadas en Sucre y Yotala, Bolivia

Physiological and sanitary quality of corn seeds (*Zea mays*) grown in Sucre and Yotala, Bolivia

Alfredo José Salinas-Arcienega^{1*} & Martha Serrano Pacheco¹

*Autor de Correspondencia: salinas.alfredo@usfx.bo

¹ Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisacan, Casilla postal 1046, Calle Calvo N° 132, Sucre- Bolivia.

Recibido: 01/11/2024 Aceptado para publicación: 01/12/2024

Resumen

El maíz es un cultivo esencial para la seguridad alimentaria y económica en diversas regiones de Bolivia, particularmente en la agricultura familiar de los municipios de Sucre y Yotala, donde se cultivan variedades locales adaptadas a altitudes de entre 2.819 y 3.052 m.s.n.m. Su producción enfrenta desafíos en la calidad de semillas, un factor clave para el rendimiento y la productividad. En ese contexto, el estudio evaluó la calidad fisiológica y sanitaria de las semillas de maíz producidas en comunidades de Sucre (Sonkochipa, Sojtapata, Llinfi y La Barranca) y Yotala (Anfaya, San Cristóbal y Tipaca). Fueron recolectados lotes de entre 250 y 700 gramos, provenientes de seis familias por comunidad, que fueron analizados en el laboratorio mediante pruebas de germinación, resistencia al frío, peso de 1000 semillas, pureza y sanidad. Los resultados mostraron una buena calidad fisiológica y sanitaria, destacando comunidades como Tipaca y Llinfi, con un 97% de germinación y vigor superior al 90%. Sin embargo, los porcentajes de pureza fueron bajos y el manejo post-cosecha inadecuado, lo que afectó el rendimiento de las semillas. Por tanto, a pesar de su alta calidad fisiológica, el manejo inadecuado y la baja pureza, impactan negativamente la productividad, lo que resalta la necesidad de mejorar las prácticas de conservación y manejo de semillas.

Palabras clave: agricultura familiar, germinación, semilla, vigor.

Abstract

Corn is an essential crop for food and economic security in various regions of Bolivia, particularly in the family farming systems of the municipalities of Sucre and Yotala, where local varieties are grown at altitudes ranging from 2,819 to 3,052 meters above sea level. Its production faces challenges related to seed quality, a key factor for performance and productivity. In this context, this study evaluated the physiological and sanitary quality of corn seeds produced in the communities of Sucre (Sonkochipa, Sojtapata, Llinfi, and La Barranca) and Yotala (Anfaya, San Cristóbal, and Tipaca). Seed lots, ranging from 250 to 700 grams, were collected from six families per community and analyzed in the laboratory through tests for germination, cold resistance, 1000-seed weight, purity, and health. The results showed good physiological and sanitary quality, with communities like Tipaca and Llinfi standing out, achieving 97% germination and vigor over 90%. However, purity levels were low, and post-harvest management was inadequate, which affected seed performance. Therefore, despite the high physiological quality, inadequate management and low purity negatively impact productivity, highlighting the need to improve seed conservation and management practices.

Keywords: Family farming, germination, seed, vigor.

Introducción

El maíz (*Zea mays*) es un cultivo esencial y uno de los más extendidos a nivel global, constituyendo una fuente fundamental de alimentación para millones de personas, particularmente en América y Asia. Se considera una de las primeras plantas domesticadas, cuya propagación ha tenido un impacto significativo en diversas regiones del mundo (Sánchez, 2014). Según el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2017), en la campaña agropecuaria 2014-2015, el 28,92% de la superficie cultivada corresponde a cereales, de los cuales el maíz ocupa el 41%. En Bolivia, Santa Cruz lidera la producción con el 38% de la extensión cultivada, seguida por otros departamentos como La Paz, con un 5%, y seguido por Chuquisaca. Ávila (2008) y Gutiérrez (2010) mencionan que el maíz se cultiva en cuatro macroregiones en Bolivia, abarcando desde las zonas tropicales bajas hasta los valles interandinos a gran altitud.

El maíz tiene una notable importancia en la dieta alimentaria, especialmente en zonas rurales de Bolivia, como Chuquisaca, donde es un cultivo esencial para la población, particularmente para los sectores más vulnerables. En la campaña de verano 2007-2008, el maíz ocupó la primera posición en superficie cultivada con 82,981 ha y el segundo lugar en volumen, con 103,117 toneladas (INFOAGRO, 2008). Sin embargo, el déficit de maíz en el departamento ha llevado a la importación de 3,684 toneladas desde Cochabamba y Santa Cruz, y existe un déficit de 150,000 toneladas de maíz amarillo, según PROMASOR (2013). Este panorama resalta la relevancia del maíz en la lucha contra el hambre en el país.

La Seguridad Alimentaria (SA), definida en la Cumbre Mundial sobre Alimentación de 1996, busca garantizar el acceso físico, social y económico de las personas a alimentos suficientes y nutritivos (FAO, 2011). Aunque América Latina y el Caribe han logrado avances en la reducción del hambre y la pobreza rural, aún se enfrenta a desafíos significativos, ya que casi la mitad de la población rural es pobre, y un tercio vive en condiciones de pobreza extrema (FAO, 2014). La agricultura familiar, que produce el 80% de los alimentos a nivel mundial, juega un papel crucial en la seguridad alimentaria, proporcionando alimentos frescos y orgánicos para consumo propio o para los mercados locales, contribuyendo así a mejorar la calidad nutricional y reducir la pobreza (Moyano, 2014).

La evolución del maíz está vinculada a las prácticas de selección que los agricultores continúan desarrollando, buscando mejorar los rendimientos y adaptarse a las condiciones locales. La preservación de los recursos genéticos, tanto in situ como ex situ, es fundamental para la mejora de las variedades locales (Magdaleno-Hernández et al., 2016). Además, la variabilidad genética del maíz es notable, ya que los agricultores gestionan una amplia gama de variedades adaptadas a distintos hábitats y presiones ecológicas (Hernández, 1972). Es importante destacar la resistencia de las semillas a daños mecánicos y su capacidad para germinar bajo condiciones adecuadas, lo que impacta directamente en la calidad y rendimiento de los cultivos (Desai et al., 1997; Basu, 1994).

En las comunidades rurales de Chuquisaca, especialmente en las regiones periurbanas de Yotala y Sucre, el maíz es una fuente crucial de sustento alimentario y económico. En estos lugares, los agricultores conservan una parte de su cosecha como material genético para las futuras siembras. Es esencial evaluar tanto la calidad fisiológica como sanitaria de las semillas utilizadas, ya que esto afecta directamente la productividad y la sostenibilidad de los cultivos. Este estudio busca resaltar la importancia del maíz como recurso alimentario y económico, así como la relevancia de conocer y garantizar la calidad del material genético que utilizan las familias en estas regiones para asegurar una producción más eficiente y sostenible.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La primera fase del trabajo fue de recolección y selección del material genético en las seis comunidades de estudio. La segunda fase del trabajo fue realizar las pruebas en el laboratorio de semillas de la Facultad de ciencias agrarias de la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, ubicada en el Centro de Investigación e Innovación Villa Carmen. En la Tabla 1, se detallan las localidades donde se realizó la recolección de lotes de semillas.

Diseño experimental y evaluación de datos

La evaluación, fue procesada con el modelo lineal generalizado bajo el supuesto de distribución binomial, en base a la estructura del diseño bloques al azar, que incluye el experimento factorial 6*6 con 6 bloques o repeticiones (comunidades) y 6 tratamientos (lotes), a los cuales se les aplico el análisis de varianza ANOVA, cuando presentaron una diferencia estadística se aplicó la prueba de medias de Tukey al ($p < 0.05$).

Recolección de material genético

Fueron recolectados entre 250 a 700 gramos. de semillas, denominados lotes, estos lotes fueron reunidos de 6 familias diferentes en cada comunidad de estudio, siendo de dos variedades diferentes amarillo criollo y blanco perla.

Pruebas de Laboratorio

Análisis de Pureza: Esta prueba fue realizada separando cada lote de semilla en tres partes, semilla pura, otras semillas y material inerte. Cada parte fue pesada por separado para llegar a un resultado final según las reglas de (International Seed Testing Association - ISTA 2016 & Regras para Análise de sementes - RAS 2009).

Peso de masa de 1000 semillas: Esta prueba fue realizada de acuerdo con las reglas de (Regras para análise de sementes RAS 2009) Se utilizaron de seis a ocho repeticiones de 100 semillas, para cada lote de semilla y la media de los datos fue expresada en gramos. Primero se debió calcular la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación, si este coeficiente es $\leq 6\%$ el resultado se considera aceptable y el peso de masa de 1000 semillas puede ser calculado de la siguiente manera: $\text{Peso de mil semillas (PMS)} = \text{Peso medio de las repeticiones por}$

10. El resultado final fue expresado en gramos como fue medido en cada repetición.

Prueba de Germinación: Se realizó en laboratorio bajo condiciones controladas, superando las limitaciones de las pruebas de campo, donde la variabilidad ambiental afecta la precisión de los resultados. Siguiendo las normas internacionales (ISTA 2008), se utilizó el método de rollo de papel, recomendado por el manual brasileño de análisis de semillas (RAS 2009). Se humedecieron tres hojas de papel toalla (Maxi Rollo Élite) y se sembraron 30 semillas por rollo, realizando tres repeticiones por tratamiento. Los rollos se colocaron en bolsas plásticas dentro de una cámara germinadora a 20-30°C y 50-60% de humedad. La evaluación se realizó a los 6 días, clasificando las semillas en plantas normales, anormales y no germinadas (RAS & ISTA 2009). Para calcular el porcentaje de germinación se toma en cuenta la siguiente formula:

(1)

$$\% \text{ de Germinación} = P_n / N \times 100$$

Dónde: P_n = Número de plantas germinadas normales; N = número total de semillas sembradas para germinar

Este cálculo se realiza para cada repetición por tratamiento, luego se calcula la media por cada tratamiento y se expresa en % de germinación.

Prueba de resistencia al frío: Esta prueba fue realizada con una repetición por tratamiento, un rollo de papel humedecido con 30 semillas sembradas, luego fueron colocados en bolsas plásticas e introducidos en cajas plástica y cerradas herméticamente, posteriormente depositadas dentro de un frízer graduado a 10 °C durante un periodo de 7 días según la guía práctica de (Marco Eustaquio de Sá 2011). Pasado este tiempo los rollos de papel fueron llevados a la cámara germinadora graduada a 25°C y humedad relativa de 50% por un periodo de 7 días para su posterior evaluación según las reglas (RAS & ISTA 2009). Los resultados fueron expresados en porcentaje (%) de germinación siguiendo los mismos aspectos que en la prueba de germinación.

Prueba de sanidad: Se evaluó la sanidad de las semillas mediante la inspección de 50 semillas por lote. Las semillas con orificio de salida de insecto fueron separadas. Las demás se remojaron durante 24 horas y luego se realizó un corte transversal para identificar la presencia de daños por insectos, según las normas (RAS & ISTA 2009). Después se sumaron las semillas con orificio y en las que se

encontró huevo, gusano o insecto adulto dentro y fueron representadas en porcentaje.

Resultados

Prueba de Pureza

Se consideraron tres aspectos para determinar el porcentaje de pureza de las semillas, según lo descrito en la metodología de esta investigación adecuadas a (ISTA & RAS 2009), que son: Semilla Pura, material inerte y otras semillas. Según la prueba de medias (Figura N° 1) realizada para, la interpretación del porcentaje de pureza se muestra que las comunidades de Tipaca, Anfaya y La Barranca que tienen la media de porcentajes más alta con 100 % "a", luego se encuentran las comunidades de Sojtapata y Llinfi con 99% "ab" y por último la comunidad de Sonkochipa con el 98% "b".

Peso de masa de 1000 semilla

La prueba de peso de mil semillas se realizó pesando de 6 a 8 repeticiones de cien semillas puras para obtener un peso medio adaptado al método de (RAS & ISTA 2009). Según la prueba de medias realizada para, la interpretación del peso de mil semillas.

Prueba de Germinación

Esta prueba se realizó adaptada a la metodología de (ISTA & RAS 2009) separando 100 semillas del lote de semillas puras, y sembradas en tres rollos de papel como se describe en la metodología de la prueba considerando tres aspectos fundamentales para determinar el porcentaje de germinación de las semillas, que son: 1) Plantas Normales, 2) Plantas anormales o enfermas y 3) Semillas no germinadas. Según la prueba de medias realizada para la interpretación del porcentaje de germinación (Figura N° 3), se demuestra que las comunidades de Tipaca y Llinfi tienen el porcentaje más alto con 97% "a", luego está La Barranca con el 96% "a", Anfaya con el 95% "a", Sojtapata con el 90% "ab" y por último Sonkochipa con el 85% "b".

Prueba de Sanidad

Esta prueba se realizó adaptada a la metodología de (ISTA & RAS 2009) considerando tres aspectos fundamentales para determinar el porcentaje de sanidad de las semillas, según lo descrito en la metodología de esta investigación, que son: 1) Semillas perforadas por insectos, 2) Semillas con insecto o huevo dentro y 3) Semillas

Tabla 1. Descripción del área de estudio y comunidades donde se recolectó el material genético.

Comunidad	Región	Descripción	Coordenadas geográficas	Altura (m.s.n.m)
Sonkochipa	Sucre D6	distante a 7 Km de la ciudad de Sucre	18°59'15.1" LS y 65°12'18.4" LW	2970
Sojtapata	Sucre D6	distante a 20 Km de la ciudad de Sucre	19°2'42.3" LS y 65°5'20.5" LW	2819
Llinfi	Sucre D6	distancia de 6 Km de la ciudad de Sucre	18°59'7.9" LS y 65°17'40.8" LW	2938
La Barranca	Sucre D6	distancia de 5 Km de la ciudad de Sucre	18°58'27.6" LS y 54°19'4.4" LW	2982
Anfaya San Cristóbal	Yotala	distancia de 10 Km de la población de Yotala	19°15'20.3" LS y 65°13'14.8" LW	3052
Tipaca	Yotala	distancia de 15 Km de la población de Yotala	19°15'41.4" LS y 65°18'34.8" LW	2870

infectadas con hongos. Según la prueba de medias realizada para la interpretación del porcentaje de sanidad (Figura N°4), se demuestra que la comunidad de Tipaca tiene el porcentaje más alto con 97% "a", seguida de las comunidades de Anfaya, La Barranca y Sojtapata con el 96% "a", Llinfi con el 92% "ab", y por último Sonkochipa con el 73% "b".

Prueba de resistencia al frío

Esta prueba se realizó adaptada a la metodología de (ISTA & RAS 2009) sometiendo las semillas a una temperatura menor de 10 °C por un periodo de 7 días, luego se realizó la prueba de germinación según lo descrito en la metodología de la investigación. Con esta Prueba observamos que, si existe una disminución en las medias de los tratamientos de alrededor de 4%, de una media de 94% de germinación en condiciones favorables baja a 90% cuando las semillas son sometidas a bajas temperaturas. La comparación de medias entre el porcentaje de germinación con el porcentaje de semillas germinadas después de la prueba de frío. (Figura N°5), algunas aumentaron en porcentaje el caso de las comunidades Sonkochipa (r1) y Sojtapata (r2). Pero luego observamos la reducción significativa en los porcentajes de germinación tal es el caso de las comunidades La Barranca (r3), Llinfi (r4), Anfaya (r5) y Tipaca (r6).

La (figura N°6), representa la regresión lineal entre el porcentaje de germinación y el porcentaje de sanidad de los lotes de semillas analizados, esta figura representa una tendencia positiva, es decir que cuando aumenta la sanidad del lote también incrementa el porcentaje de germinación de las semillas. Se observa que las comunidades de Anfaya (r5) y Tipaca (r6) representan los mejores resultados, de forma equitativa con los resultados obtenidos tanto en el porcentaje de germinación como la sanidad de las semillas. Así mismo, la relación r^2 de 0.99 indica una fuerte relación entre las variables. Demuestra que las semillas sanas presentan mayor vigor y expresan una germinación equilibrada y de muy buena calidad.

Discusión

La capacidad y tecnología de almacenamiento de semilla es un factor de importancia para mejorar la pureza y calidad fisiológica de las mismas, es por eso que las comunidades con mayor porcentaje de pureza son Anfaya y Tipaca que cuentan con un 90% de familias dotadas de pequeños silos de almacenamiento, esto nos demuestra la importancia de capacitar a las familias productoras en almacenamiento de su semilla de maíz. En cuanto al proceso de secado de la semilla no es el adecuado y algunas familias están secando su semilla hasta un punto

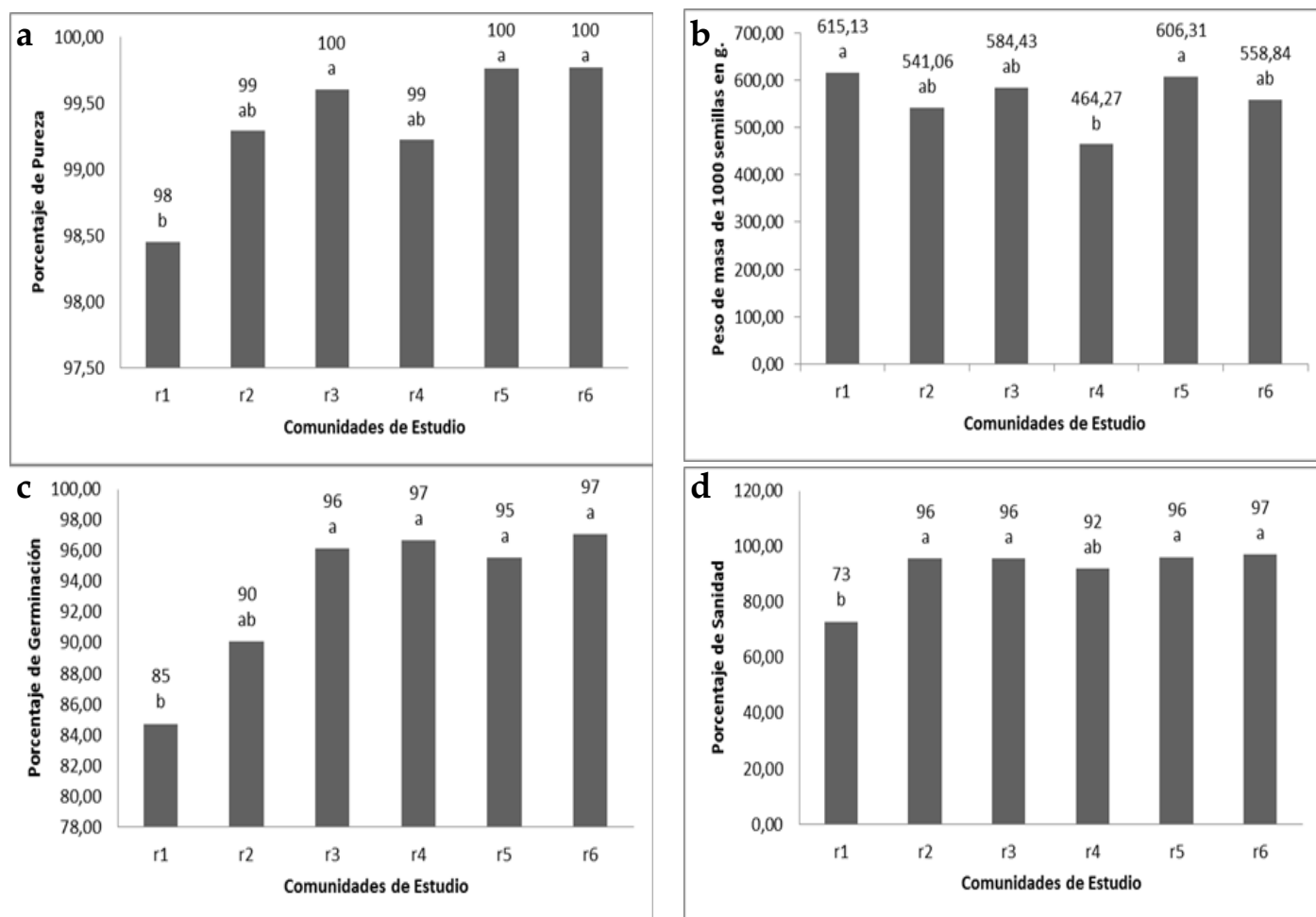


Figura 1a, b, c y d: Prueba de medias para los porcentajes de pureza de los lotes de semilla recolectados en las comunidades de Sonkochipa (r1), Sojtapata (r2), La Barranca (r3), Llinfi (r4), Anfaya (r5), San Cristóbal (r6) y Tipaca. Las medias representadas por la misma letra no muestran diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

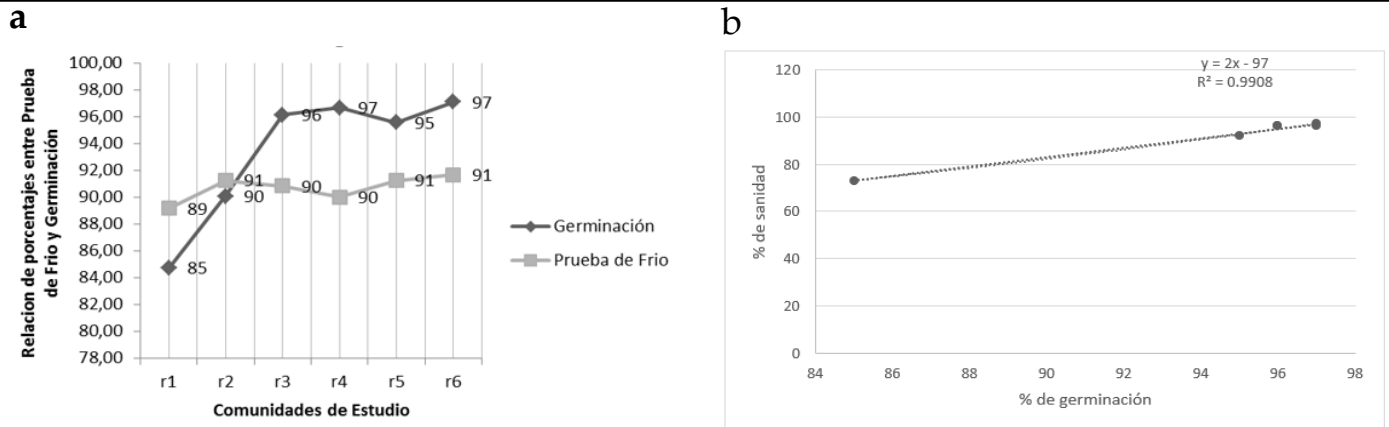


Figura 5. (a) Relación entre los porcentajes de germinación y la prueba de resistencia al frío en los lotes de semillas recolectados en las comunidades de Sonkochipa (r1), Sojtapata (r2), La Barranca (r3), Llinfi (r4), Anfaya (r5), San Cristóbal (r6) y Tipaca, (b) Regresión lineal entre el porcentaje de germinación y el porcentaje de sanidad en los lotes de semilla recolectados en las comunidades mencionadas.

Tabla 2. Resumen de datos obtenidos en las comunidades, con clasificación de acuerdo a las medias obtenidas para cada variable, separadas en los valores de: Muy Buena, Buena, Regular y Malo

Comunidad	Variable	Media	Clasificación
Sonkochipa	Pureza	98%	Regular
	Peso de masa de mil semillas	464,27 g.	Buena
	Porcentaje de germinación	85 %	Regular
	Sanidad	73%	Malo
	Prueba de frio	89%	Regular
Sojtapata	Pureza	99%	Muy Buena
	Peso de masa de mil semillas	541,07 g.	Muy Buena
	Porcentaje de germinación	95%	Buena
	Sanidad	92%	Regular
	Prueba de Frio	91%	Regular
La Barranca	Pureza	99%	Muy Buena
	Peso de masa de mil semillas	558,84 g.	Muy Buena
	Porcentaje de germinación	96%	Buena
	Sanidad	96%	Buena
	Prueba de Frio	91%	Regular
Llinfi	Pureza	100%	Muy Buena
	Peso de masa de mil semillas	584,43 g.	Muy Buena
	Porcentaje de germinación	96%	Buena
	Sanidad	96%	Buena
	Prueba de Frio	90%	Regular
Anfaya San Cristóbal	Pureza	100%	Muy Buena
	Peso de masa de mil semillas	606,31 g.	Muy Buena
	Porcentaje de germinación	97%	Buena
	Sanidad	96%	Buena
	Prueba de Frio	91%	Regular
Tipaca	Pureza	100%	Muy Buena
	Peso de masa de mil semillas	615,13 g.	Muy Buena
	Porcentaje de germinación	97%	Buena
	Sanidad	97%	Buena
	Prueba de Frio	92%	Buena

de humedad muy bajo, lo cual ocasiona que algunos lotes resultaran mejores en la prueba de frío, no demostrando vigor de la semilla si no, que al tener bajo porcentaje de humedad la semilla toma un tiempo mucho más largo en absorber agua antes de empezar en condiciones ideales de germinación, lo cual afectará directamente en la uniformidad de germinación de estos lotes de semilla, afectando su desenvolvimiento fisiológico, trato cultural y productividad. Lo que concuerda con el estudio realizado por Mercado *et al.*, (2002), encontrando resultados similares cuando los porcentajes de humedad de las semillas son controlados el poder germinativo aumenta en el cultivo de maíz.

La metodología utilizada en este estudio, repite la metodología utilizada por Laynez *et al.*, (2010), para lograr determinar las cualidades físicas y fisiológicas de semillas de maíz en un entorno controlado de laboratorio. Sin embargo, algunas pruebas fueron adaptadas al medio y materiales disponibles para su realización, no en tanto, genera resultados de similares características en lotes de semillas. En general la semilla en poder germinativo y vigor resultó en buenas condiciones según las pruebas realizadas, pero es importante señalar que estas pruebas fueron aplicadas en semillas almacenadas poco tiempo, el manejo de estas semillas en la postcosecha nos indica que pueden sufrir daños por secado, humedad y almacenamiento en procesos más largos, por encima de los ocho meses de almacenamiento.

Conclusiones

El estudio destaca que el adecuado almacenamiento de semillas, controlando humedad y temperatura, mejora su calidad física y sanitaria. Las comunidades con mejores prácticas, como Anfaya y Tipaca, muestran buenos resultados en germinación y vigor. Sin embargo, Sonkochipa presenta los peores índices de sanidad y rendimiento

Agradecimientos

Agradecemos a Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria, Instituto Politécnico Tomas Katari (IPTK) y al Gobierno Municipal de Yotala por su apoyo logístico y organizacional en la recolección de material genético.

Referencias

- Beingolea, L., Fukushima, M., Figueroa, C., & Rojas, V. (2022). The effect of different concentrations of em in the germination of seeds damaged (under force) of maize under laboratory conditions. *South Florida Journal of Environmental and Animal Science*, 2(1), 12–19.
- Bilanski, W. K., & Lal, R. (1965). The behavior of threshed materials in a vertical wind tunnel. *Transactions of the ASAE*, 411–416.
- Chayanov, A. (1974). *La organización de la unidad doméstica campesina*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Nueva Visión.
- Desai, B. B., Kotecha, P. M., & Salunkhe, D. K. (1997). *Seeds handbook*. Nueva York, EE. UU.: Marcel Dekker.
- FAO. (2011). *United Nations decade of family farming 2019-2028. Global Action Plan*. Recuperado de <http://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1195619/>
- FAO. (2014). *Agricultura familiar y sistemas alimentarios inclusivos para el desarrollo rural sostenible*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Gutiérrez, C. (2010). Evaluación de la importancia de la producción del Cultivo de Maíz (*Zea mays* L.) en la seguridad alimentaria en familias campesinas de cinco comunidades del municipio de Sorata del Departamento de La Paz. La Paz, Bolivia: Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés.
- Hernández, X. E. (1972). Exploración etnobotánica en maíz. *Fitotecnia Latinoamericana*, 8, 46–51.
- INE. (2017). *Encuesta Agropecuaria 2015*. La Paz, Bolivia: Instituto Nacional de Estadística.
- INFOAGRO Bolivia. (2008). *Sistema de información para cadenas productivas: Cultivo del maíz*. Bolivia.
- ISTA (International Seed Testing Association). (2008). *International rules for seed testing*. Bassersdorf, Suiza.
- Kameswara Rao, N., Hanson, J., Dulloo, M. E., Ghosh, K., Nowell, D., & Larinde, M. (2007). *Manual para el manejo de bancos de germoplasma*.
- King, D. L., & Riddolls, A. W. (1960). Damage to wheat seed and pea seed in threshing. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 7(2), 90.
- La Gra, J., Kitinoja, L., & Alpizar, K. (2016). *Metodología de evaluación de cadenas agroalimentarias para la identificación de problemas y proyectos*. San José, Costa Rica: IICA.
- Laynez Garsaball, J., Méndez Natera, J. R., & Mayz Figueroa, J. (2010). Germinación de semillas de maíz (*Zea mays*) bajo estrés hídrico simulado. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 41(2).
- Magdaleno-Hernández, E., Mejía-Contreras, A., Martínez-Saldaña, T., Jiménez-Velazquez, M. A., Sanchez-Escudero, J., & García-Cué, J. L. (2016). Selección tradicional de semilla de maíz criollo. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 13(3), 437–447. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx>.
- Marcos Filho, J. (2005). *Fisiología de sementes de plantas cultivadas*. Piracicaba, Brasil: Autor.
- Mercado Puerto, A. E., & Méndez Medal, C. A. (2002). Diagnóstico sobre el manejo postcosecha y la calidad inicial de la semilla de granos básicos producida artesanalmente en cinco zonas de Nicaragua. *Ingeniería thesis*, Universidad Nacional Agraria, UNA.
- Mohsenin, N. N. (1986). *Physical properties of plant and animal materials* (2.^a ed.). Nueva York, EE. UU.: Gordon and Breach Science Publishers.
- Multon, J. L., Bizot, H., Doublier, J. L., Lefebvre, J., & Abbott, D. C. (1981). Effect of water activity and sorption hysteresis on rheological behavior of wheat kernels. En L. B. Rockland & G. F. Stewart (Eds.), *Water activity: Influences on food quality* (pp. 179–198). Nueva York, EE. UU.: Academic Press.
- Moyano, E. (2014). *Agricultura familiar. Algunas reflexiones para un debate necesario*. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 14(1), 133–140. Recuperado de <https://ageconsearch.umn.edu/record/180114/files/7Tribuna.pdf>.
- Niño C., V., Nicolás M., C., Pérez L., D. J., & González H., A. (1998). Estudio de trece híbridos y cinco variedades de maíz en tres localidades del Valle Toluca-Atlaomulco. *Revista Ciencias Agrícolas Informa*, 12, 33–43.
- PROAGRO. (2010). *Modelos de gestión. Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable*, Bolivia.
- PROMASOR. (2013). *Asociación de Productores de Maíz y Sorgo (Promasor)*. Promasor revela el futuro potencial productivo del maíz en Bolivia.
- RAS (Regras Para Análise de Sementes). (2009). *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*, Brasil.
- Sánchez, I. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *REDUCA (Biología)*, 7(2), 151-171.
- Scully, B. T., Stofella, P. J., & Cantlife, D. J. (1990). Field emergence of shrunken-2 corn predicted by single- and multiple-vigor laboratory tests. *Journal of the American Society for Horticultural Science*.
- Wolf, E. (1975). *Los campesinos*. Barcelona, España: Editorial Labor

Revisión

Agricultura Urbana en la Finca Aranjuez, Sucre, Bolivia: Análisis de Investigaciones Agroecológicas (2016-2020)

Urban Agriculture at Finca Aranjuez, Sucre, Bolivia: Analysis of Agroecological Research (2016-2020)

Josue Bejarano Chumacero^{1*} & Manuel Jimenez Huaman¹

*Autor de Correspondencia: josuebejarano10@gmail.com

¹ Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisacan, Casilla postal 1046, Calle Calvo N° 132, Sucre- Bolivia.

Recibido: 01/11/2024 Aceptado para publicación: 01/12/2024

Resumen

El estudio revisa investigaciones sobre agricultura urbana en la Finca de Terapia Ocupacional Aranjuez, ubicada en el Distrito 4 de Sucre, Bolivia, entre 2016 y 2020, con apoyo del Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria (IASA). Se analizaron 16 trabajos, principalmente trabajos de grado de egresados de la Facultad de Ciencias Agrarias. La revisión abarcó prácticas agroecológicas implementadas en la finca, destacando horticultura (37%), cereales y forrajes (31%), fruticultura (19%), y producción pecuaria y mejoramiento de suelos (13%). Los resultados muestran que estas prácticas contribuyen significativamente a la seguridad alimentaria local, integran enfoques agroecológicos sostenibles y permiten cosechar productos saludables utilizados en el Centro de Terapia Ocupacional "Finca Aranjuez". Se enfatiza la importancia de sistematizar continuamente el conocimiento generado para fortalecer su difusión y maximizar el impacto de las prácticas agroecológicas en la región. La evaluación crítica destaca los avances y limitaciones en la adopción de tecnologías agrícolas sostenibles en entornos urbanos y periurbanos, subrayando la necesidad de promover más investigaciones frente a los desafíos de la seguridad alimentaria y el cambio climático.

Palabras clave: horticultura, fruticultura, forrajes, pecuaria, terapia ocupacional

Abstract

The study reviews research on urban agriculture conducted at the Aranjuez Occupational Therapy Farm, located in District 4 of Sucre, Bolivia, between 2016 and 2020, with support from the Institute of Agroecology and Food Security (IASA). A total of 16 studies were analyzed, primarily undergraduate theses by graduates of the Faculty of Agricultural Sciences. The review focused on agroecological practices implemented on the farm, highlighting horticulture (37%), cereals and forage crops (31%), fruit cultivation (19%), and livestock production and soil improvement (13%). The findings demonstrate that these practices significantly contribute to local food security, integrate sustainable agroecological approaches, and enable the harvest of healthy products used at the "Finca Aranjuez" Occupational Therapy Center. The study emphasizes the importance of continuously systematizing the knowledge generated to strengthen its dissemination and maximize the impact of agroecological practices in the region. The critical evaluation highlights both the progress and limitations in adopting sustainable agricultural technologies in urban and peri-urban environments, underscoring the need to promote further research to address the challenges of food security and climate change..

Keywords: horticulture, fruit cultivation, forage, livestock, occupational therapy

Introducción

En los últimos años, el crecimiento poblacional y los elevados niveles de migración han incrementado significativamente la demanda de alimentos en las ciudades, impulsando el desarrollo de la agricultura urbana y periurbana como respuesta a la expansión urbana. Esta modalidad agrícola no solo refuerza el suministro de alimentos, sino que también diversifica la economía local, promueve la integración social y contribuye a la sostenibilidad ambiental (Buhaug & Urdal, 2013; Orsini et al., 2013; Fukase & Martin, 2020).

La agricultura urbana, definida por sus particularidades y diferenciación de los entornos rurales, incorpora enfoques que responden a las necesidades específicas de los espacios urbanos. Según Degenhart (2016), aunque esta actividad presenta características comunes en distintos contextos, su implementación está influida por factores locales que moldean su práctica. Por ello, resulta crucial comprender estas especificidades para maximizar su impacto en el desarrollo sostenible de las ciudades (Olivera & Zavaleta, 2020; Castillo, 2024; FAO, 2024).

En Bolivia, esta práctica comenzó a consolidarse a finales de la década de 1990, con el municipio de El Alto como uno de sus principales focos iniciales. Actualmente, la agricultura urbana se ha extendido a diversas regiones del país, convirtiéndose en un elemento clave para la seguridad alimentaria y generando beneficios socioeconómicos al permitir la producción de alimentos en entornos urbanos. Este enfoque contribuye tanto al ingreso económico de las familias como al bienestar comunitario (Nogales et al., 2018; Ávila, 2019).

Un caso emblemático en este contexto es la Finca de Terapia Ocupacional "Aranjuez", ubicada en el Distrito 4 del municipio de Sucre, Bolivia. Con una extensión aproximada de 12 hectáreas y una historia que se remonta a su fundación junto al Instituto Nacional de Psiquiatría Gregorio Pacheco en 1816, esta finca ha evolucionado para adaptarse a las necesidades contemporáneas de la agricultura urbana. En los últimos años, se ha destacado como un centro de experimentación y desarrollo de prácticas agroecológicas sostenibles.

Desde 2016, un convenio interinstitucional entre el Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria (IASA) de la Facultad de Ciencias Agrarias y el centro ha permitido desarrollar actividades prácticas relacionadas con agroecología y seguridad alimentaria. Estas iniciativas han involucrado a estudiantes y egresados en investigaciones que abarcan áreas como horticultura, fruticultura, cereales y forrajes, además del manejo sostenible de suelos, generando conocimientos aplicados valiosos para el desarrollo de prácticas agrícolas en entornos urbanos.

La presente revisión sistemática busca analizar y sintetizar los trabajos de grado realizados por egresados de la Facultad de Ciencias Agrarias en la Finca Aranjuez, con énfasis en la agricultura urbana y su contribución al

conocimiento de las Ciencias Agrarias. A través de esta sistematización, se pretende evaluar el impacto de estas prácticas en la mitigación de problemas asociados con la seguridad alimentaria en entornos urbanos y responder a la pregunta central: ¿Qué aportes han realizado estos trabajos al desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles y la seguridad alimentaria en su contexto urbano?

Metodología

Este trabajo de revisión se estructuró siguiendo las directrices del enfoque PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), con el objetivo de sistematizar, organizar y analizar los trabajos de grado realizados en la Finca de Terapia Ocupacional "Aranjuez" entre 2016 y 2020. Se incluyeron tesis, monografías, informes de pasantía y proyectos de grado enfocados en prácticas de agricultura urbana con enfoque agroecológico en el municipio de Sucre, mientras que se excluyeron aquellos que no cumplían con estos criterios para garantizar la coherencia del análisis. La estrategia de búsqueda se desarrolló en tres etapas: una revisión exhaustiva en bases de datos y archivos institucionales, como el repositorio del Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria (IASA), complementada por búsquedas en la biblioteca de la Facultad de Ciencias Agrarias, y finalmente, la revisión completa de los estudios seleccionados.

La extracción y análisis de datos se centraron en identificar los objetivos, metodologías, hallazgos y limitaciones de cada trabajo, organizándolos en categorías temáticas como horticultura, fruticultura, cereales, forrajes, producción pecuaria y manejo de suelos. Se empleó un enfoque mixto, cualitativo y cuantitativo, para evaluar la validez interna, el rigor metodológico y la relevancia de los resultados en el contexto de la agricultura urbana de Sucre. Se priorizaron estudios con diseños experimentales controlados y métodos estadísticos robustos, analizando su aplicabilidad y contribución al desarrollo sostenible en entornos urbanos y periurbanos. Esta sistematización facilitó una interpretación balanceada y representativa del estado actual de las prácticas agroecológicas en la finca Aranjuez, proporcionando además lineamientos clave para futuras investigaciones en el área.

La Agroecología en la Granja Aranjuez

Las investigaciones revisadas abordan áreas clave en la producción agroecológica adaptada a zonas urbanas y periurbanas, con un enfoque principal en la seguridad alimentaria, sostenibilidad y el desarrollo de estos entornos. Se observa una distribución significativa de los estudios, donde los trabajos en horticultura representan un 37%, seguidos de la fruticultura y los forrajes, ambos con un 19%. Los estudios sobre cereales alcanzan el 13%, mientras que la pecuaria y la producción de humus representan el 6% de los proyectos analizados. Estos porcentajes destacan la diversidad de enfoques y la importancia de cada uno de estos sectores en la agricultura urbana.

Horticultura

Los estudios en horticultura representan la mayor

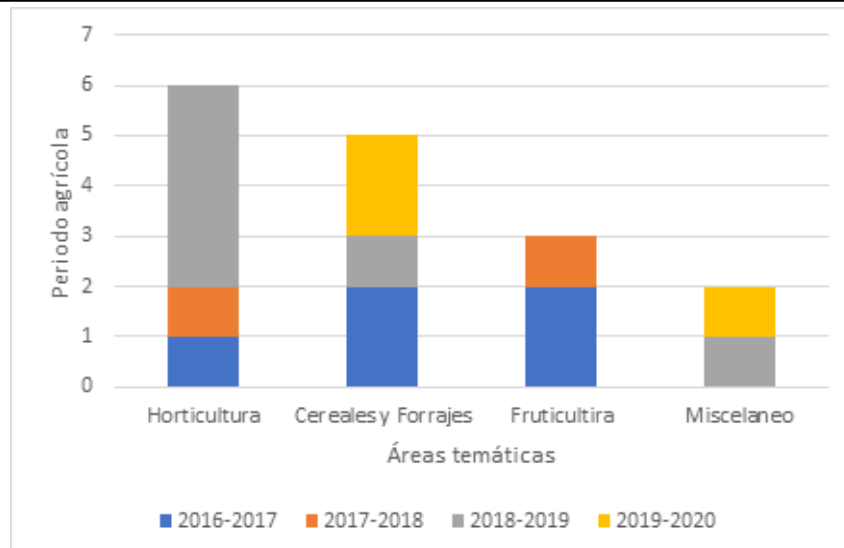


Figura 1. Tendencias anuales en la producción de trabajos: Análisis de 2016 a 2020

Tabla 1. Investigaciones Agronómicas: Clasificación por Áreas Temáticas y Modalidades

Año	Área	Título del Proyecto	Carrera	Modalidad	Autor
2017	Horticultura	Influencia de Cuatro Cultivos de Cobertura en la Producción de Acelga (<i>Beta vulgaris</i> var. <i>cicla</i>)	Ingeniería Agronómica	Tesis	Acuña 2018
2018	Horticultura	Producción de Hortalizas Bajo Cubierta e Inserción Ocupacional a Pacientes Recuperados del Psiquiátrico "Instituto Gregorio Pacheco"	Agronomía T.S.	Pasantía	Huarayo 2018
2019	Horticultura	Producción de Acelga Penca Ancha (<i>Beta vulgaris</i>) Variedad Cicla Bajo Cubierta en el Centro de Terapia Ocupacional Finca Aranjuez	Agronomía T.S.	Pasantía	Porcel 2019
2019	Horticultura	Producción de Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>) Variedad Súper Río Grande Bajo Cubierta, con Sistema de Riego por Goteo	Agronomía T.S.	Pasantía	Lima 2019
2019	Horticultura	Evaluación de la Producción de Hortalizas Asociadas en Sistema Multiestrato en Condiciones de Carpa Solar	Agronomía T.S.	Pasantía	Daza 2019
2019	Horticultura	Producción Ecológica de Vainitas (<i>Phaseolus vulgaris</i>) en Carpa Solar	Agronomía T.S.	Tesina	Parina 2019
2017	Fruticultura	Evaluación del efecto de la incorporación de cultivos acompañantes en el crecimiento del Ciruelo (<i>Prunus domestica</i>)	Ingeniería Agronómica	Tesis	Condori 2017
2017	Fruticultura	Producción de Plantines de Durazno (<i>Prunus pérsica</i>) mediante Técnicas de Escarificado y Estratificado	Agronomía T.S.	Pasantía	Escobar 2017
2018	Fruticultura	Manejo de dos Tipos de Injerto de Ciruelo Rojo (<i>Prunus domestica</i>) en Pie de Durazno Criollo	Agronomía T.S.	Pasantía	Romero 2018
2017	Cereales	Influencia de las densidades de siembra en el rendimiento en la producción de agroecosistemas asociados	Ingeniería Agronómica	Tesis	Coro 2017
2017	Cereales	Evaluación del Rendimiento del cultivo asociado de maíz (<i>Zea mays</i>) y Arveja (<i>Pisum sativum</i>)	Agronomía T.S.	Tesina	Saavedra 2017
2020	Forrajes	Influencia Del Cultivo De Cebada (<i>Hordeum Vulgare</i>) En El Comportamiento Agronómico De Cuatro Variedades De Alfalfa	Ingeniería Agronómica	Tesis	Serrudo 2020
2020	Forrajes	Evaluación Del Comportamiento Agronómico De Siete Pastos Forrajeros Con Riego Suplementario	Ingeniería Agronómica	Tesis	Cruz 2020
2019	Forrajes	Influencia del Cultivo de Cebada en el Control de Malezas en la Producción asociada	Agronomía T.S.	Tesina	Machuca 2019
2020	Producción Pecuaria	Optimización de Insumos Alimenticios en la Producción Pecuaria	Agronomía T.S.	Pasantía	Colque 2020
2019	Suelos	Producción de Humus de Lombriz a partir del estiércol Bovino y resto Vegetales (<i>Eisenia foetida</i>)	Agronomía T.S.	Pasantía	Colque 2020

proporción de las investigaciones realizadas en la Finca Aranjuez, con un 37% del total. Esta alta concentración refleja un interés notable por el desarrollo de técnicas sostenibles en la producción de hortalizas en entornos urbanos y periurbanos. Los estudios abarcaron cultivos como la acelga (*Beta vulgaris*), el tomate (*Solanum lycopersicum*) y la vainita (*Phaseolus vulgaris*), con un enfoque en el uso de carpas solares y sistemas de riego tecnificado.

Uno de los trabajos más destacados fue el de Porcel (2019), que demostró la eficiencia de las carpas solares en la producción de acelga, alcanzando un índice de prendimiento del 98% y una producción total de 127 kg en cinco cosechas. Este tipo de investigaciones evidencia que las condiciones controladas proporcionadas por las carpas solares optimizan el rendimiento de los cultivos, especialmente en entornos urbanos donde las condiciones ambientales son inestables. Además, la degradación del suelo en Chuquisaca afecta negativamente la producción agrícola, lo que impulsa la necesidad de usar cultivos de cobertura para mejorar la fertilidad (Acuña, 2018).

Otro estudio relevante fue el de Lima (2019), que evaluó el cultivo de tomate bajo un sistema de riego por goteo. Este enfoque mostró una alta eficiencia, con un rendimiento de 150 kg por cada 60 m², subrayando la importancia de los sistemas de riego eficientes en la agricultura urbana, particularmente en áreas con recursos hídricos limitados.

Fruticultura

La fruticultura en la Finca Aranjuez ha sido objeto de múltiples estudios, representando el 19% de las investigaciones realizadas. Estos estudios se han centrado en mejorar la producción de especies como el ciruelo (*Prunus domestica*) y el durazno (*Prunus persica*), con énfasis en técnicas de propagación y mejoramiento, como el injerto y el escarificado.

Un estudio significativo fue el de Escobar (2017), que logró producir 1,500 plantines de durazno mediante técnicas de escarificado y estratificado, alcanzando un índice de prendimiento del 92% en semillas viables. Además, Romero (2018) evaluó el injerto en ciruelo rojo sobre pie de durazno criollo, obteniendo una tasa de prendimiento del 83% para el injerto de yema. Estos resultados contribuyen a la mejora genética de especies frutales adaptadas a las condiciones locales, maximizando la productividad y resiliencia de los cultivos en suelos periurbanos.

Cereales y forrajes

Los cultivos de cereales y forrajes son fundamentales para complementar la producción agrícola en entornos urbanos, ya que aportan a la diversificación de cultivos y la sostenibilidad de la producción pecuaria. Los estudios en la Finca Aranjuez sobre cereales (13%) y forrajes (19%) se han centrado en asociaciones de cultivos y el manejo de especies adaptadas a las condiciones locales.

Uno de los estudios clave evaluó la asociación de maíz (*Zea mays*) y arveja (*Pisum sativum*), revelando que el tratamiento con tres plantas de maíz por una de arveja

alcanzó el mayor rendimiento para el maíz, con 25.359 kg/ha, mientras que la asociación inversa fue más favorable para la arveja (Coro, 2017). Este hallazgo sugiere que las asociaciones de cultivos pueden mejorar la productividad en la agricultura urbana, optimizando el uso del espacio y los recursos.

En los estudios sobre forrajes, se evaluaron siete variedades de pastos, como *Brachiaria* y *Pennisetum*, bajo riego suplementario con aguas residuales tratadas. El pasto *Pennisetum purpureum* (Taiwán) mostró una producción de biomasa fresca de 151 toneladas/ha, lo que demuestra su potencial como forraje en sistemas de producción pecuaria en áreas periurbanas. Este enfoque, que utiliza recursos no convencionales, como aguas residuales, subraya la adaptabilidad de la agricultura urbana a entornos con limitaciones hídricas, promoviendo la sostenibilidad ambiental.

Pecuaria y mejoramiento de suelos

Aunque los estudios en producción pecuaria representan una proporción menor de las investigaciones, estos son fundamentales para la agricultura urbana en la Finca Aranjuez, ya que permiten diversificar las fuentes de ingreso y cerrar ciclos productivos al aprovechar los residuos agrícolas. Un estudio relevante exploró la optimización de insumos alimenticios para los animales, utilizando forrajes producidos en la misma finca. Este tipo de investigación sugiere que la integración de la producción pecuaria en sistemas agrícolas urbanos puede contribuir significativamente a la seguridad alimentaria y sostenibilidad económica en entornos periurbanos (Colque, 2020).

En cuanto al mejoramiento de suelos, se desarrollaron experimentos con humus de lombriz (*Eisenia foetida*), utilizando estiércol bovino y restos vegetales. Los estudios demostraron que la producción de humus puede ser una técnica eficaz para mejorar la fertilidad del suelo en áreas urbanas y periurbanas, donde la calidad del suelo es un desafío frecuente para la producción agrícola (Colque, 2019).

Discusión

La agricultura urbana ha emergido como una estrategia clave para promover prácticas sostenibles en sistemas agrícolas de pequeña escala. Un aspecto destacado de esta modalidad es la integración de la reutilización de aguas residuales en la producción de forrajes, lo cual no solo optimiza el uso del recurso hídrico, sino que también contribuye a la reducción de impactos ambientales (Cruz, 2020). Esta práctica, aplicada en sistemas cerrados, tiene el potencial de transformar la producción agrícola en zonas urbanas al garantizar un uso más eficiente de los recursos disponibles. Al aprovechar aguas residuales para cultivos forrajeros, se mejora la resiliencia de los sistemas de producción frente a la escasez de agua, especialmente en regiones con acceso limitado a fuentes de agua fresca.

Además de la gestión eficiente del agua, la producción de humus de lombriz a partir de estiércol bovino y restos vegetales se ha demostrado como una técnica efectiva

para mejorar la calidad del suelo en la agricultura urbana (Colque, 2019). Este proceso de reciclaje biológico no solo incrementa la fertilidad del suelo, sino que también fomenta ciclos agrícolas más sostenibles. El uso de humus de lombriz como fertilizante natural mejora la estructura y la capacidad de retención de agua del suelo, lo que es crucial en ambientes urbanos donde el suelo a menudo carece de nutrientes esenciales. Estos enfoques contribuyen al cierre de ciclos en la producción agrícola, lo que optimiza la utilización de recursos dentro de los sistemas urbanos y mejora la sostenibilidad a largo plazo.

Sin embargo, a pesar de los avances logrados en la agricultura urbana, la investigación aún enfrenta ciertos desafíos que limitan su efectividad. La dependencia de tecnologías convencionales y la falta de acceso a tecnologías más avanzadas dificultan el progreso de estudios más profundos y especializados. Además, la falta de un repositorio digital centralizado que clasifique y facilite el acceso a la información generada por investigaciones previas dificulta la reutilización de los datos y el aprendizaje de buenas prácticas (Cruz, 2020). La implementación de un sistema de almacenamiento y acceso actualizado sería crucial para acelerar la innovación en este campo y garantizar que la información esté disponible para investigadores y practicantes.

Finalmente, la colaboración interinstitucional, como el convenio renovado entre el Instituto Nacional de Psiquiatría Gregorio Pacheco y el Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria (IASA), refleja el potencial de la agricultura urbana para abordar desafíos más amplios, como la salud mental y el bienestar social (IASA, 2023). Integrar la agricultura con terapias ocupacionales es un enfoque innovador que no solo mejora la seguridad alimentaria, sino que también ofrece beneficios sociales y psicológicos. Este tipo de investigaciones multidisciplinarias subraya la importancia de fortalecer la colaboración entre las instituciones académicas, gubernamentales y comunitarias, lo cual puede crear modelos replicables de agricultura urbana que contribuyan al desarrollo sostenible de las ciudades.

Conclusion

La agricultura urbana en Sucre ha demostrado ser fundamental para mejorar la seguridad alimentaria y promover la sostenibilidad en la región, integrando prácticas innovadoras como la reutilización de aguas residuales y el uso de humus de lombriz. Sin embargo, aún existen desafíos, como la falta de acceso a tecnologías avanzadas y la necesidad de mejorar el acceso a la información generada. Es esencial fortalecer la colaboración interinstitucional, entre el Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria y el Instituto Nacional de Psiquiatría, para avanzar hacia modelos agrícolas más sostenibles y resilientes, que integren la producción alimentaria y la salud mental en un contexto urbano.

Declaración de conflictos

Los autores no tenemos conflictos de intereses

Agradecimientos

Los autores agradecemos a la Facultad de Ciencias Agrarias, y al Instituto Psiquiátrico Gregorio Pacheco por dar su consentimiento para esta publicación.

Referencias

- Acuña, F. (2018). Influencia de Cuatro Cultivos de Cobertura en la Producción de Acelga (*Beta vulgaris* var. cicla), en el Centro Experimental Finca - Aranjuez Hnos. San Juan de Dios. Tesis de grado para optar el grado académico de Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. IASA. Sucre
- Ávila Sánchez, H. (2019). Agricultura urbana y periurbana: reconfiguraciones territoriales y potencialidades en torno a los sistemas alimentarios urbanos. *Investigaciones geográficas*, (98)
- Buhaug, H., & Urdal, H. (2013). An urbanization bomb? Population growth and social disorder in cities. *Global environmental change*, 23(1), 1-10.
- Castillo Suta, C. J. (2024). Políticas públicas en agricultura urbana en Lima Metropolitana, 2023.
- Colque, F. (2020). Optimización de Insumos Alimenticios en la Producción Pecuaria en el Centro de Terapia Ocupacional Finca Aranjuez del Psiquiátrico Gregorio Pacheco Municipio de Sucre. Tesina de grado para optar el grado académico de Técnico Superior en Agronomía. Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. IASA. Sucre
- Colque, V. (2019). Producción de Humus de Lombriz a partir del estiércol Bovino y resto Vegetales (*Eisenia foetida*) en el Centro Ocupacional Finca Aranjuez del Instituto Nacional de Psiquiatría Gregorio Pacheco Municipio de Sucre. Informe pasantía de grado para optar el grado académico de Técnico Superior en Agronomía. Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. IASA. Sucre
- Coro, P. (2017). Influencia de las densidades de siembra en el rendimiento en la producción de agro ecosistemas asociados de Zea mays y Vicia faba maíz choclo y haba en la finca de Aranjuez, Chuquisaca. Tesis de grado para optar el grado académico de Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. IASA. Sucre
- Cruz, M. (2020). Evaluación Del Comportamiento Agronómico De Siete Pastos Forrajeros Con Riego Suplementario De Aguas Residuales En La Finca Aranjuez (Gregorio Pacheco). Tesis de grado para optar el grado académico de Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. IASA. Sucre
- Daza, O. (2019). Evaluación de la Producción de Hortalizas Asociadas en Sistema Multiestrato en Condiciones de Carpa Solar en el Centro de Terapia Ocupacional Finca Aranjuez Psiquiátrico Gregorio Pacheco Municipio de Sucre. Informe pasantía de grado para optar el grado académico de Técnico Superior en Agronomía. Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. IASA. Sucre
- de Oliveira Alves, D., & de Oliveira, L. (2022). Commercial urban agriculture: A review for sustainable development. *Sustainable Cities and Society*, 87, 104185.
- Escobar, G. (2017). Producción de Plantines de Durazno (*Prunus pérsica*) mediante Técnicas de Escarificado, Estratificado en la Finca Aranjuez de D-4 Municipio de Sucre. Informe pasantía de grado para optar el grado académico de Técnico Superior en Agronomía. Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. IASA. Sucre
- Fukase, E., & Martin, W. (2020). Economic growth, convergence, and world food demand and supply. *World Development*, 132, 104954.
- Huarayo, G. (2018). Producción de Hortalizas Bajo Cubierta e Inserción Ocupacional a Pacientes Recuperados del Psiquiátrico "Instituto Gregorio Pacheco". Informe pasantía de grado para optar el grado académico de Técnico Superior en Agronomía. Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. IASA. Sucre
- Lima, G. (2019). Producción de Tomate (*Solanum lycopersicum*)

Variedad Súper Río Grande Bajo Cubierta, con Sistema de Riego por Goteo, en el Centro de Terapia Ocupacional - Finca Aranjuez. Informe pasantía de grado para optar el grado académico de Técnico Superior en Agronomía. Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. IASA. Sucre

Machuca, J. (2019). Influencia del Cultivo de Cebada en el Control de Malezas en la Producción asociada de Maíz - Arveja en condiciones a secano en el centro de Terapia Ocupacional Finca Aranjuez del Instituto Nacional de Psiquiatría "Gregorio Pacheco". Tesina de grado para optar el grado académico de Técnico Superior en Agronomía. Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. IASA. Sucre

Nogales, M. T., Paredes, R., Rivera, M., & Rodriguez, J. (2018). Experiencias de agricultura urbana y periurbana en el ALTO y La PAZ. Fundación Alternativas, HIVOS: La Paz.

Olivera, G., & Zavaleta, K. (2020). La agricultura urbana y periurbana como 'segundo mejor uso' del suelo en la ciudad. Retos frente a la urbanización y las políticas urbanas: Cuernavaca, México. QUID 16. Revista del Área de Estudios Urbanos, (13), 216-242.

Orsini, F., Kahane, R., Nono-Womdim, R., & Gianquinto, G. (2013). Urban agriculture in the developing world: a review. *Agronomy for sustainable development*, 33, 695-720.

Parina, R. (2019). Producción Ecológica de Vainitas (*Phaseolus vulgaris*) en Carpa Solar en el Centro de Terapia Ocupacional Finca Aranjuez del Instituto Nacional de Psiquiatría "Gregorio Pacheco" Municipio de Sucre. Informe pasantía de grado para optar el grado académico de Técnico Superior en Agronomía. Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. IASA. Sucre

Porcel, N. (2019). Producción de Acelga Penca Ancha (*Beta vulgaris*) Variedad Cicla Bajo Cubierta en el Centro de Terapia Ocupacional Finca Aranjuez. Informe pasantía de grado para optar el grado académico de Técnico Superior en Agronomía. Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. IASA. Sucre

Romero, G. (2018). Manejo de dos Tipos de Injerto de Ciruelo Rojo (*Prunus domestica*) en Pie de Durazno Criollo (*Prunus pérsica*) en el Municipio de Sucre (Finca Aranjuez). Informe pasantía de grado para optar el grado académico de Técnico Superior en Agronomía. Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. IASA. Sucre

Saavedra, R. (2017). Evaluación del Rendimiento del cultivo asociado de maíz (*Zea maíz*. Var amarillo criollo) y Arveja (*Pisum sativum*) Var. Criollo Blanca de Yamparaez en función a la densidad de la siembra. Tesina de grado para optar el grado académico de Técnico Superior en Agronomía. Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. IASA. Sucre

Serrudo, P. (2020). Influencia Del Cultivo De Cebada (*Hordeum Vulgare*) En El Comportamiento Agronómico De Cuatro Variedades De Alfalfa (*Medicago Sativa*) En La Finca Gregorio Pacheco. Tesis de grado para optar el grado académico de Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. IASA. Sucre