

UNIVERSIDAD CATÓLICA BOLIVIANA “SAN PABLO”

Sede Académica Santa Cruz • Departamento de Ciencias Agropecuarias • Carrera de Ingeniería en Agronegocios

CARACTERIZACIÓN COMPARATIVA DE VARIABLES EDÁFICAS, MICROCLIMÁTICAS Y VEGETATIVAS EN ÁREAS DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) CON Y SIN INFLUENCIA DE CORTINAS ROMPEVIENTOS

Cátedra: Cultivos Extensivos

Director del Departamento de Ciencias Agropecuarias: Mgr. Felipe Mendieta

Docente Revisor: Ing. Selva María Ribera

Cuerpo de Investigadores (Alumnos): André Maldonado, Claudia Salazar, Miguel Gonzales, Vito Tovias, Celeste Drew, Benjamin Padilla, Irene Valentina Villa, Jose Ignacio Fiori, Matias Salaberry, Abbely Higuera, Mariana Castillo, Luciana Rossi, Wenzel Andrade, Fabrizio Cáceres, Jesus Bruno, Aaron Roca, Keen Sebastián Coca, Luis Orozco, Juan Viveros, Nicolás Vargas, Fredy Claros, Santiago Caicedo Rivera, Tomás Suárez, Steeven Añez, Carlos Dorado Pilon, Taiyo Tsukayama, Carlos Serrate, Joel Joaquin Ruiz, Mario Valentin Rojas Vargas, Camila Gareca, Melissa Ibañez, Roberto Ardaya, Carolina Arteaga, Hanoly Roca.

Fecha de Publicación Académica: 13 de Julio de 2026 • Santa Cruz de la Sierra, Bolivia

RESUMEN

El presente estudio realizó una caracterización comparativa de variables microclimáticas, edáficas, vegetativas y operativas en cañaverales con y sin influencia de cortinas rompevientos instaladas por la Fundación Ketrave en predios comerciales de Warnes y Los Tajibos. Se aplicó un muestreo transéctico sistemático en cuatro microambientes: suelo desnudo adyacente a la cortina, cultivo protegido en sotavento, eje interno de la cortina y cañaveral testigo expuesto. Las mediciones realizadas durante la visita mostraron diferencias entre los ambientes: la caña protegida presentó temperaturas edáficas de 23,0-24,5 °C, humedad del suelo de 56-76% y alturas de 3,40-3,60 m, mientras que el testigo expuesto registró 28,8-32,0 °C, 40% de humedad y alturas de 2,20-2,50 m. Asimismo, se recopilieron percepciones y datos operativos mediante entrevistas a productores. Estos resultados constituyen evidencia comparativa de asociaciones entre la presencia de cortinas y condiciones microambientales favorables; sin embargo, debido al carácter transversal del muestreo y a la ausencia de una línea base previa a la instalación de las cortinas, no permiten establecer por sí solos relaciones causales ni cuantificar un efecto antes-después. Se recomienda continuar con un diseño longitudinal y controles comparables para estimar con mayor rigor el impacto atribuible a las cortinas.

Palabras clave: Agroforestería, cortinas rompevientos, caña de azúcar, microclima, suelo, caracterización comparativa, sotavento.

1. INTRODUCCIÓN

El oriente boliviano, y particularmente el departamento de Santa Cruz, constituye una de las principales regiones agroindustriales cañeras del país. Las corrientes estacionales de viento, especialmente durante los denominados “surazos”, pueden generar estrés mecánico, favorecer el resecamiento superficial del suelo y contribuir al acame de la caña.

Las cortinas rompevientos son sistemas agroforestales lineales destinados a modificar el flujo del viento y generar condiciones microambientales potencialmente favorables para los cultivos. En este contexto, la Universidad Católica Boliviana “San Pablo” y la Fundación Ketrave desarrollaron una actividad de investigación de campo orientada a caracterizar y comparar variables en zonas con y sin influencia aparente de estas barreras.

El alcance del presente trabajo es observacional y comparativo. Las mediciones corresponden a una visita de campo realizada cuando las cortinas ya se encontraban establecidas; por tanto, el estudio no dispone de mediciones de línea base previas a su instalación. En consecuencia, los resultados permiten describir diferencias

espaciales observadas entre microambientes, pero no constituyen una evaluación temporal antes-después ni, por sí solos, una demostración causal del impacto de las cortinas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Aerodinámica y dinámica microclimática de barreras vivas

La literatura técnica señala que la altura, continuidad y porosidad de una cortina rompevientos condicionan su capacidad para reducir la velocidad del viento a sotavento. Esta modificación puede influir sobre la demanda evaporativa, la temperatura y la conservación de humedad. Estos antecedentes sustentan la hipótesis de trabajo, pero no sustituyen la medición directa del efecto en los predios evaluados.

2.2 Conservación del suelo y ciclaje de nutrientes

Las barreras arbóreas pueden contribuir a reducir la erosión eólica y aportar materia orgánica mediante hojarasca. Algunas especies leguminosas también pueden participar en procesos de fijación biológica de nitrógeno. En este estudio, estos mecanismos se consideran explicaciones plausibles de las diferencias observadas, pero no fueron aislados experimentalmente ni cuantificados de manera longitudinal.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y unidades de observación

El estudio se concentró en predios comerciales cañeros con más de 15 años de explotación intensiva, localizados en Warnes y Los Tajibos, con aproximadamente 800 ha bajo evaluación. El manejo agrícola se basa en siembra a 1,50 m entre surcos, sistema de caña verde y rotación con soya. Las barreras observadas incluyeron franjas maduras de 10 a 40 años de antigüedad y líneas de renovación de 6 meses.

3.2 Diseño de medición

Se utilizó un diseño observacional, transversal y comparativo mediante transectos sistemáticos. Se definieron cuatro microambientes: (1) suelo desnudo adyacente a la cortina, (2) cultivo protegido en sotavento, (3) eje interno de la cortina y (4) cañaveral testigo sin protección. Se midieron temperatura y humedad edáfica, pH, conductividad eléctrica (CE), índice de fertilidad y parámetros dendrométricos (altura, DAP y diámetro de copa).

Adicionalmente, se realizaron entrevistas y un análisis descriptivo de costos operativos con 12 productores cañeros de la región, orientados a recoger información sobre acame y costos de zafra manual y mecanizada.

3.3 Alcances y limitaciones del diseño

El diseño permite comparar condiciones existentes entre los microambientes en el momento de la visita.

No se dispone de mediciones previas a la instalación de las cortinas en los mismos puntos, por lo que no es posible realizar una comparación antes-después.

Las cortinas presentan edades diferentes y las unidades comparadas pueden diferir en historia de manejo, suelo, edad del cultivo, fertilización u otros factores. Estas variables pueden actuar como factores de confusión.

Por ello, las diferencias observadas deben interpretarse como asociaciones espaciales y no como efectos causales demostrados exclusivamente por la presencia de la cortina.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Matriz de datos biofísicos integrados

Los registros obtenidos durante la visita fueron consolidados en la siguiente matriz descriptiva. Los valores representan condiciones observadas en los microambientes evaluados y no cambios temporales respecto de una línea base.

VARIABLE EVALUADA	AMBIENTE 1 (SUELO DESNUDO)	AMBIENTE 2 (CAÑA PROTEGIDA)	AMBIENTE 3 (EJE DE CORTINA)	AMBIENTE 4 (TESTIGO EXPUESTO)
pH (Relación 1:2,5)	7,5	7,0 - 7,5	7,0	7,0
Conductividad Eléctrica (dS/m)	0,00	0,00 - 0,04	0,01	0,00 - 0,04
Temperatura Edáfica (°C)	27,7	23,0 - 24,5	21,5	28,8 - 32,0
Humedad del Suelo (%)	46%	56% - 76%	58% - 88%	40%
Índice de Fertilidad Edáfica	33	84	105	6
Altura Vegetativa de la Biomasa (m)	No aplica	3,40 - 3,60	6,50 - 7,60	2,20 - 2,50

4.2 Dinámica microclimática y desarrollo vegetativo

Durante la evaluación, el cañaveral testigo expuesto registró temperaturas edáficas de 28,8-32,0 °C y 40% de humedad, mientras que la caña protegida presentó 23,0-24,5 °C y 56-76% de humedad. La altura observada en la caña protegida fue de 3,40-3,60 m, frente a 2,20-2,50 m en el testigo. Tomando como referencia los extremos comparados, la altura del cultivo protegido fue aproximadamente 44% superior a la registrada en el ambiente testigo. Esta diferencia debe interpretarse como una diferencia relativa observada entre ambientes y no como un incremento temporal demostrado.

4.3 Fertilidad edáfica

Los índices de fertilidad registrados fueron mayores en los ambientes bajo influencia de la cortina que en el testigo expuesto. La presencia de hojarasca y de especies leguminosas constituye un mecanismo agrónomicamente plausible para contribuir a estas diferencias. No obstante, el estudio no contó con una línea base ni con un diseño que permita separar el efecto de la cortina de diferencias preexistentes de suelo, manejo o historia del lote; por ello, no corresponde atribuir causalmente la totalidad de la diferencia observada a la cortina.

4.4 Información económica y eficiencia operativa

Las entrevistas a productores señalaron que el acame puede incrementar los costos de cosecha manual y mecanizada. Los valores reportados de 17% y 8%, respectivamente, deben presentarse como información obtenida mediante el sondeo realizado y no como efectos económicos experimentalmente comprobados por este estudio. Para estimar el ahorro atribuible a las cortinas sería necesario registrar costos reales comparables en lotes protegidos y no protegidos durante varias zafas.

4.5 Biodiversidad funcional

Durante la visita se observó diversidad de especies vegetales y fauna asociada a las barreras. Esta observación es consistente con la función potencial de los sistemas agroforestales como hábitat y corredor biológico. Sin embargo, al no haberse aplicado un protocolo cuantitativo específico de biodiversidad o control biológico, no es posible concluir a partir de esta evaluación que la cortina reduzca de manera comprobada la necesidad de insecticidas.

4.6 Inventario florístico de las barreras

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO / GÉNERO	CARACTERIZACIÓN OBSERVACIONAL
Aceituna Morada	<i>Olea europaea</i> var. <i>morada</i>	Especie registrada en la barrera; follaje denso.
Aceituno Falso	<i>Syzygium cumini</i>	Estrato alto; especie observada en las hileras externas.
Aceituno Negro / Cuminishi	<i>Simarouba amara</i>	Estrato alto; especie registrada en la barrera.
Toborochoi	<i>Ceiba speciosa</i> / <i>Chorisia speciosa</i>	Caducifolia; aporte potencial de hojarasca.

Cupesí	<i>Prosopis sp.</i>	Leguminosa; potencial contribución al ciclaje de nitrógeno.
Curupaú	<i>Anadenanthera colubrina</i>	Leguminosa nativa; producción de biomasa.
Tajibo	<i>Handroanthus sp. / Tabebuia sp.</i>	Nativa de estrato intermedio; valor para diversidad estructural.
Bibosi	<i>Ficus sp.</i>	Perennifolia de estrato denso.
Churuba	<i>Stetsonia coryne</i>	Cactácea columnar nativa.
Achachairú	<i>Garcinia humilis</i>	Frutal nativo arbustivo.

5. CONCLUSIONES

1. La evaluación realizada caracteriza y compara las condiciones existentes en áreas de caña con y sin influencia de cortinas rompevientos en el momento del muestreo.
2. Se observaron asociaciones favorables entre el ambiente protegido y menores temperaturas edáficas, mayor humedad del suelo y mayor altura vegetativa de la caña respecto del testigo expuesto.
3. La diferencia de altura observada, cercana al 44% según los valores comparados, debe expresarse como una diferencia relativa entre ambientes y no como un incremento temporal o productivo causado de manera comprobada por la cortina.
4. Las diferencias en índices de fertilidad son compatibles con posibles aportes de los componentes arbóreos, pero el diseño no permite atribuirlos exclusivamente a la cortina ni cuantificar el efecto de mecanismos específicos.
5. Los porcentajes económicos recogidos mediante entrevistas constituyen información descriptiva de productores. Para demostrar ahorros atribuibles a las cortinas se requieren registros contables y productivos comparables entre tratamientos y a través del tiempo.
6. Debido a la ausencia de una línea base previa a la instalación de las cortinas, el estudio no demuestra un efecto antes-después ni permite establecer causalidad. Sus resultados deben considerarse una caracterización diagnóstica que genera hipótesis y una base para diseñar una segunda fase de investigación.

6. RECOMENDACIONES PARA UNA SEGUNDA FASE

- Establecer parcelas o sectores comparables con cortina y sin cortina, con replicación suficiente.
- Registrar una línea base antes de instalar nuevas cortinas y repetir las mediciones durante su establecimiento y desarrollo.
- Medir a distancias estandarizadas respecto de la cortina (por ejemplo 1H, 2H, 5H, 10H y 15H), tanto a barlovento como a sotavento.
- Incorporar velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad del aire y del suelo, humedad gravimétrica o volumétrica, evapotranspiración, acame y variables de suelo.
- Medir directamente productividad en toneladas de caña por hectárea y variables de calidad tecnológica de la caña.
- Registrar costos reales de cosecha, combustible, mano de obra, mantenimiento y uso de insumos en lotes comparables.
- Controlar o documentar posibles factores de confusión: tipo de suelo, variedad, edad del cultivo, fertilización, historia del lote, topografía, manejo y fecha de cosecha.
- Repetir las evaluaciones en distintas épocas del año y durante eventos de viento relevantes, utilizando análisis estadístico apropiado.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2019). Agroecología: Diseños para una agricultura sustentable. Editorial Centros de Investigación Agroecológica. México.

- Beer, J. (1988). Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems*, 7(2), 103–114.
- Centro de Investigación Agrícola Tropical [CIAT]. (2021). Manual técnico del cultivo de caña de azúcar en el departamento de Santa Cruz. Boletín Técnico N° 42. Santa Cruz, Bolivia.
- FAO. (2015). Windbreaks and shelterbelts: Guidelines on sustainable management in agricultural landscapes. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.
- Jose, S. (2022). Agroforestry for conservation and resilience in intensive agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 323(1), 107-119.
- Lorenz, G., & Thielen, H. (2020). Efecto microclimático de barreras forestales vivas en las tierras bajas de Bolivia. *Revista Boliviana de Investigación Agronómica*, 14(2), 45-58.
- Molina, N., & Molina, I. (s.f.). Fundación Ketrawe: Sistemas Agroforestales y Restauración.
- Nair, P. K. R. (2023). An introduction to agroforestry: Science, policy and practice (2nd ed.). Springer Science & Business Media. Dordrecht, Netherlands.
- Santiesteban, R., & Rivera, M. (2018). Dinámica hídrica y balance microclimático en el cultivo de *Saccharum officinarum* bajo sistemas fito-protegidos. *Suplemento Técnico de la Asociación de Técnicos Cañeros de Bolivia*, 8(3), 12-25.