# MEMORIAS

Seminario Internacional de Agroforestería X

II Simposio Interacciones Microorganismos-Suelo-Planta

IBAGUÉ · TOLIMA · COLOMBIA



## Organizadores:

## Red Agroforestal de Universidades de Colombia RAUC

## Universidad del Tolima

## Coordinadores

**Dr. Jairo Mora-Delgado (Universidad del Tolima)**
**Dra. Maryeimy Varón-López (Universidad del Tolima)**

## Conferencistas Magistrales
## Invitados Internacionales

**Dr. Arthur Prudêncio de Araujo Pereira,**
**Universidade Federal do Ceará, Brasil**

**Dr. Fernando Casanoves,**
**Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Costa Rica**

**M.Sc. José Ney Ríos Ramírez,**
**Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Costa Rica**

**Dr. Mario José Añazco**
**Universidad Técnica del Norte**
**Ecuador**

**Dr. Ana Giraldo Silva,**
**Universidad Pública de Navarra, España**

**Dr. Edwin Gutiérrez,**
**Universidad de Florida – Estados Unidos de América**

**M.Sc. Derlyn Johana Solano López,**
**Laboratorio de Ecología Aplicada, Universidade Estadual do Santa Cruz, Brasil**

## Invitados nacionales

**Dr. Nelson Pérez Almario**
**AGROSAVIA, C.i. Nataima**

**Dr. Hernán Jair Andrade,**
**Universidad del Tolima**

**Dr. Vandreé Palacios Bucheli.**
**Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas, UDCA**

**Dr. Urley Adrián Pérez Moncada, AGROSAVIA, C.I. Tibaitatá**

**M.Sc, Niria Pastora Bonza,**
**Universidad Distrital**

**Ing. Alex Saer, CEO, CERCARBONO**

# Tendencias y cifras el X Seminario Internacional de Agroforestería y II Simposio Microorganismos - Suelo - Planta

**Jairo Mora Delgado[1] & Maryeimy Varón López[2]**

**[1] Profesor titular, Departamento de producción Pecuaria, Universidad del Tolima, [2] Profesor asociado, Departamento de Biología, Universidad del Tolima**

**jrmora@ut.edu.co**

**Introducción**

El seminario internacional en Agroforestería se realiza en Colombia cada dos años, en modalidad itinerante que ha pasado por diferentes sedes anfitrionas, entre ellas, la Universidad de Nariño, Universidad de la Amazonia, Universidad del Valle, Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas (UDCA) Universidad Tecnológica del Chicó y Universidad del Tolima. De igual forma, el Simposio Interacciones - Microrganismos Suelo-Planta, inicio su primera versión en 2024con la aspiración de institucionalizarse en la Universidad del Tolima como sede permanente y en modalidad bienal.

Entre el 21 de octubre y 23 de octubre de 2026 se realizaron en Ibagué los dos eventos en mención, cuyo objetivo fue compartir avances de investigación y experiencias de investigadores, estudiantes y productores en los diferentes campos de conocimiento que giran alrededor de las temáticas de los dos eventos. Para su cumplimiento, se abordaron temas relacionados con las ciencias agroforestales y biológicas alrededor de seis temáticas desarrolladas en sendas mesas de trabajo: Mesa 1 Sistemas Silvopastoriles; Mesa 2 Territorios y cambio climático; Mesa 3 Economía circular y biotecnología; Mesa 4 Interacciones microorganismos suelo planta; Mesa 5 Agroecología y sociedad, y Mesa 6 Sistemas Silvoagrícolas. Así, se tuvo un escenario científico y técnico para que empresarios, productores de los sectores público y privado compartieran sus conocimientos y experiencia a través de presentaciones orales y pósteres. Además, los participantes lograron asistir a varias conferencias magistrales de reconocidos investigadores internacionales y nacionales.

En el presente documento se reportan los resultados del X Seminario Internacional de Agroforestería, y del II Simposio Interacciones Microorganismos-Suelo -Planta realizados en la Universidad del Tolima en la ciudad de Ibagué, Colombia. Teniendo en cuenta que estos temas son cruciales para el desarrollo de la agricultura colombiana y mundial, la Universidad del Tolima y la Red Agroforestal de Universidades de Colombia (RAUC) invitaron a investigadores, conferencistas, profesores, empresarios, productores y comunidad en general a participar en estos dos eventos realizados entre el 21 y 23 de octubre de 2026.

El acto solemne inaugural estuvo precedido por una mesa directiva conformada por Leonardo Duvan Restrepo, decano de la Facultad de Ciencias; Lina María Peñuela, decana de la facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Vandreé Julian Palacios, presidente de la RAUC, Maryeimy Varon López, coordinadora del II SIMSP y Jairo Mora Delgado, coordinador del X SIAF (de izquierda a derecha en la figura 1),



Figura 1. Mesa directiva que encabezó el acto de apertura del X SIAF y II SIMSP.

El grupo de conferencistas magistrales, estuvo conformado por investigadores internacionales y nacionales. Los invitados internacionales fueron: Dr. Arthur Prudêncio de Araujo Pereira, de la Universidade Federal do Ceará, Brasil; Dr. Fernando Casanoves y José Ney Ríos Ramirez, provenientes del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Costa Rica; Dr. Mario José Añazco de la Universidad Técnica del Norte del Ecuador; Dr. Ana María Giraldo Silva, Investigadora, Ramón & Jacal de la Universidad Pública de Navarra, España; Dr. Edwin Gutiérrez, investigador de la Universidad de Florida de Estados Unidos de América; y la candidata a Doctora Derlyn Johana Solano López, del Laboratorio de Ecología Aplicada de la Universidade Estadual do Santa Cruz, Brasil (Figura 2)




Figura 2. Conferencistas internacionales y comité organizador del X SIAF y II SIMSP

Los Invitados nacionales fueron el Dr. Nelson Pérez Almario AGROSAVIA, C.i. Nataima; Dr. Hernán Jair Andrade, de la Universidad del Tolima; Dr. Vandreé Palacios Bucheli, de la Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas, UDCA; el Dr. Urley Adrián Pérez Moncada, de AGROSAVIA, C.I. Tibaitatá; el CEO de CERCARBONO, Alex Saer, y candidata a Doctora Niria Pastora Bonza, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Un total de 260 participantes, provenientes de 31 instituciones entre públicas y privadas realizaron importantes contribuciones en forma de ponencias orales o carteles: UNITRÓPICO, Universidad del Tolima, Universidad de Nariño, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A., Universidad Tecnológica del Chocó, UNIMINUTO, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Universidad de la Amazonia, AGROSAVIA, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Universidad de Cundinamarca, Universidad Rafael Landívar, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Zenkinoko SAS, Pontificia Universidad Javeriana, Universidad Nacional de Colombia, CORHUILA, Universidad de Manizales, UNIOC (sigla declarada), Universidad Pública de Navarra, Universidad La Gran Colombia, CEU Cardenal Herrera University, Movimiento Agroecológico Colombiano MACO, Red Nacional de Agricultura Familiar RENAF, Red Latinoamericana de Psicología Rural

RedPsiRural, Universidade Estadual de Santa Cruz, University of Bologna, Université Paris-Sorbonne Nouvelle, Universidad de La Salle, Fundación Ambiental y Educativa Farallones, Ecogreen Productos Naturales, y Universidad del Tolima.

El acto de bienvenida fue amenizado por la Orquesta Sinfónica y el Coro de la Universidad del Tolima, dirigidos por el Maestro Cesar Zambrano, en cuyo espacio se rindió homenaje póstumo al Profesor de la Universidad Nacional de Colombia y cofundador de la RAUC, Dr. Marco Hela Franco Valencia, mediante la lectura de un acto administrativo del consejo de Facultad de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (Figura 3)

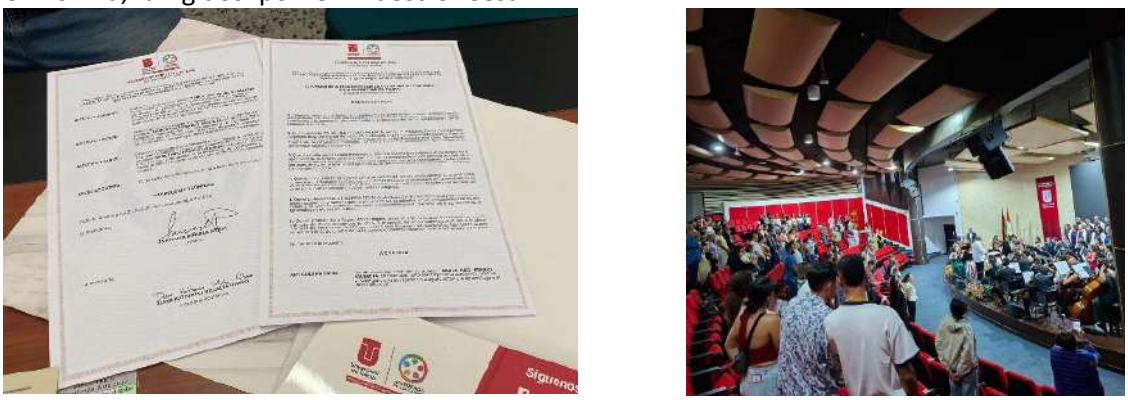


Figura 3. Acto administrativo del Consejo de Facultad de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia que rinde homenaje póstumo al Dr. Marco Heli Franco (izquierda) e imagen del la Orquesta Sinfónica de la Universidad del Tolima en el concierto de apertura del evento

La producción académica socializadas en estos eventos, estuvo organizada en conferencias magistrales que se impartieron en las horas de la mañana en el Auditorio Mayor de la Música de la Universidad del Tolima, y en las seis mesas temáticas que trabajaron en tres recintos simultáneos durante las tardes de los días 21 y 22 de octubre (Figura 4).



Figura 4. Tres de las seis mesas de trabajo, en su orden: Mesa 1 Sistemas silvopastoriles; Mesa 2 Territorios y cambio climático, y Mesa 3 Interacciones macroorganismos-suelo-planta

Finalmente, los miembros de la RAUC realizaron una asamblea *express* en la cual se defino la sede del XI SIAF que se realizará en el año 2028 en la ciudad de Bogotá bajo la coordinación da la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y en CINOC de Pensilvania (Caldas).

**Aproximación al análisis de contenido**

Una compilación de los resúmenes de las ponencias y carteles fue usada para realizar un análisis de contenido y bibliométrico. Los análisis permitieron hace una síntesis de la autoría y proveniencia institucional y

coocurrencias de las temáticas presentadas en las ponencias.

Para la autoría y proveniencia institucional, se hizo un cálculo de crédito fraccional. Este reparte el valor de cada contribución entre las instituciones o entidades que aparecen en sus afiliaciones. La fórmula utilizada fue:

**CE = 1/nd**

donde. **CE** es Crédito por entidad en un trabajo y **nd** es número de entidades distintas del trabajo. Así, si el trabajo tiene una sola afiliación el crédito asignado es 1; si la contribución tiene dos afiliaciones, cada institución recibe 0,5, y si la contribución es firmada por tres instituciones diferentes, la corresponde un crédito de 0, 333. Después se suman los créditos de todos los trabajos en los que aparece cada entidad. Una institución repetida en las afiliaciones de varios autores del mismo trabajo cuenta una sola vez. En este análisis, se utilizaron las 100 contribuciones sin duplicación; se incluyeron todas las entidades declaradas como afiliación, también empresas, fundaciones y redes: el reparto se hizo por entidad, no por número de autore**s**; al sumar de los créditos de todas las entidades es 100, antes del redondeo.

Para el análisis de contenido, se tomaron como fuentes los resúmenes, títulos y palabras clave de las 100 contribuciones. El ordenamiento, estandarización de la afiliación institucional de los autores y la preparación del corpus fue apoyado con el uso de dos inteligencias artificiales (Chat GPT y Gemini). Para la construcción de la red de coocurrencias entre temas se usó una red de enlaces siguiendo un modelo tipo Gephi

**Red de coocurrencia compatible con Gephi**
La red representa temas controlados que aparecen juntos en una misma contribución. No es una red de coautoría, citación o colaboración institucional. El modelo de red presenta diferentes simbologías: los **Nodos** (los círculos), representan los conceptos, palabras, etiquetas o entidades que estás analizando. El tamaño del nodo, Indica la frecuencia absoluta documental. Cuanto más grande es el círculo, más veces aparece ese concepto en tu base de datos. Las **Aristas o Enlaces** representan la coocurrencia; es decir, que ambos conceptos aparecieron juntos en un mismo contexto (un mismo texto). El grosor de la línea, indica la fuerza de la relación, así, una línea muy gruesa significa que esos dos conceptos aparecen juntos con mucha frecuencia. La **Distribución Espacial** (Disposición), se refiere a que los nodos que coocurren mucho se atraen entre sí, y los que no, se repelen; entonces, nodos en el centro representan conceptos puente o términos generales que se conectan con casi todo el mundo, en cambio. nodos en la periferia son conceptos muy específicos o nichos que solo se relacionan con unos pocos elementos. Los **colores**, cada color representa un clúster, así, los nodos del mismo color tienen una alta coocurrencia entre sí y una baja coocurrencia con los nodos de otros colores.

**Frecuencias temáticas del contenido**
Se aplicó un diccionario explícito de 21 temas a título, resumen y palabras clave. Cada tema cuenta una vez por contribución, sin importar cuántas veces se repita. Se buscaron equivalencias en español e inglés y se excluyeron las afiliaciones del texto temático. Las categorías son multietiqueta y no suman 100 %. El análisis mide presencia textual, incluso en antecedentes, no necesariamente el objeto principal del estudio

**Qué significan los enlaces y cómo se verifican**
Para cada contribución d y tema t, X[d,t] vale 1 si el tema aparece y 0 si no aparece. Para temas distintos i y j, C[i,j] es la suma de X[d,i] por X[d,j]. La frecuencia f[i] es la suma de X[d,i]. Jaccard es C[i,j] dividido entre f[i] + f[j] – C[i,j]. No se utiliza correlación entre conteos

de palabras repetidas dentro de un mismo resumen.

Para calcular el índice de **Modularidad** (Q) se usó un algoritmo que agrupó los 21 temas de la red en dos conjuntos, pero encontró una separación débil entre ellos, ya que los temas siguen estando bastante conectados entre ambos grupos. Los grupos no se fijaron de antemano. El procedimiento comenzó con cada tema separado y fue uniendo los conjuntos cuya unión aumentaba más la modularidad, hasta que ninguna unión adicional la mejoró.

**Tabla 1. Diferenciación de clúster en las temáticas tratadas en el XSIAF y II SIMSP**

| Clúster | Número de temas | Temas incluidos |
|---|---|---|
| 1 | 13 | Suelos, agua, carbono, microorganismos, ganadería y bioenergía |
| 2 | 8 | Saberes, educación, gobernanza, mercados, biodiversidad y seguridad alimentaria |

Estas son agrupaciones exploratorias; sus límites no representan disciplinas claramente separadas. **La modularidad (Q)** compara dos cantidades: Las conexiones que efectivamente quedan dentro de los grupos, y las conexiones internas que se esperarían en una red aleatoria que conserve la fuerza de conexión de cada tema.

Para una red ponderada, se calculó así:

$$Q = \sum_g \left[ \frac{L_g}{W} - \left( \frac{S_g}{2W} \right)^2 \right]$$

Donde, (Lg) es la suma de los pesos de los enlaces internos del grupo, (Sg) es la suma de las fuerzas de sus nodos y (W) es el peso total de la red.

En este análisis, se utilizaron los 179 enlaces de la red completa, con pesos iguales al número de contribuciones donde coinciden dos temas. La suma de esos pesos fue (W=1010).

## Resultados del análisis de contenido

El X SIAF y II SIMSP contaron con 260 participantes. La actividad académico-científica del seminario, estuvo representada por siete presentaciones magistrales internacionales, seis presentaciones magistrales nacionales, nueve carteles y 91 presentaciones orales de investigadores colombianos y extranjeros (Figura 5 y 6). El 45% corresponden a mujeres y 55% a hombres de un total de 189 firmas individuales.



Figura 5. Sesion de carteles en el X SIAF y II SIMSP



Figura 6. Mesa 6 de sistemas silvoagrícolas

En total, se contabilizaron 264 apariciones de los autores con una media de autorías por contribución de 2,64; del total de trabajos 20 son con una sola firma y 80 con dos o más firmas, lo que sugiere la naturaleza de investigación en equipo en las disciplinas participantes.

Las nueve instituciones con mayor número de contribuciones pueden verse en la figura 7.

UNITRÓPICO aparece en 29 contribuciones y la Universidad del Tolima en 26. Universidad de Nariño aparece en 16 y U.D.C.A. en 11. Los valores expresan presencia en estas memorias; no establecen una clasificación de productividad o calidad de las instituciones.

En la modalidad de ponencias en carteles, Universidad del Tolima aparece en 7 de 10 contribuciones y UNAD en 1 de 10. Una misma contribución puede incluir ambas entidades, por lo que estos valores no son partes excluyentes.

Los créditos fraccionales incluyen todas las entidades explícitas, también las redes y movimientos consignados como afiliación. El redondeo en la gráfica puede alterar la suma en centésimas, sin embargo, la gráfica de la figura 7 denota una importante presencia de UNITROPICO, Universidad del Tolima y Universidad de Nariño, por el número de contribuciones aportadas a los dos eventos, lo cual se entiende por el compromiso de las dos universidades públicas desde la fundación de la RAUC hace 20 años. Sorprendió satisfactoriamente, la alta presencia con sus trabajos de UNITROPICO por ser una institución de educación superior joven, en la cual se ofrece el programa de agroforestería con una visión territorial interesante. También fueron importantes las participaciones de otras universidades públicas, una de carácter privado (la UDCA) y un gran número de instituciones y centros de investigación que contribuyeron al menos con un trabajo.

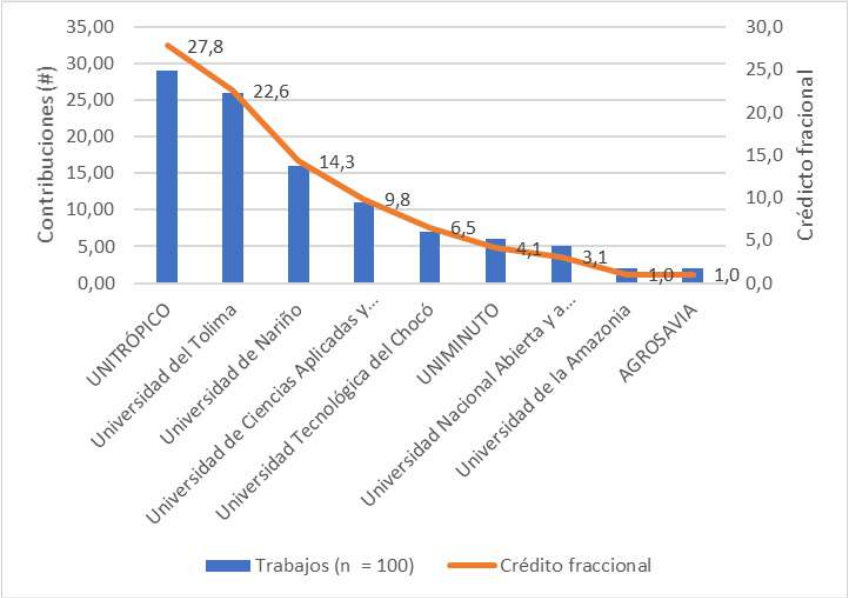



Figura 7. Instituciones con mayor número de contribuciones en el X SIAF Y II SIMSP

En cuanto al análisis de contenido de las contribuciones, es necesario advertir que esta síntesis es una interpretación sustentada en objetivos, procedimientos y resultados de las memorias de los eventos. No es una revisión sistemática externa ni un metaanálisis de los trabajos. Los resultados se atribuyen a cada resumen, sin validación independiente de datos o diseños.
El documento contiene 100 contribuciones distintas. La red temática permite observar sus relaciones; no mide impacto científico ni demuestra efectos de los sistemas agroforestales.

La red completa tiene 21 nodos y 179 enlaces observados. La imagen de la figura 8, muestra 56 enlaces con al menos 3 coocurrencias y Jaccard ≥ 0,15. Los indicadores topológicos se calcularon sobre una red simple, no dirigida, midiendo los caminos por número de enlaces. Estos filtros son decisiones de legibilidad, no pruebas de significación (tabla 2).

**Tabla 2. Indicadores y valores para las redes de coocurrencia de los temas tratados en el X SIAF y II SIMSP**

| Indicador | Red completa | Red visible en la gráfica |
|---|---|---|
| Nodos | 21,0 | 21,0 |
| Enlaces | 179,0 | 56,0 |
| Grado promedio | 17,05 | 5,33 |
| Diámetro | 2,0 | 4,0 |
| Densidad | 0,85 | 0,27 |
| Componentes conectados | 1,0 | 1,0 |

## Parámetros de métricas

**Grado promedio.** Indica cuántas conexiones directas tiene cada tema, en promedio, Así, 5,33 indica que cada tema mantiene, en promedio, conexiones visibles con aproximadamente cinco temas (Tabla 3).

**Diámetro.** el valor de 4 es para la red filtrada. Significa que la mayor distancia entre dos temas, siguiendo su camino más corto, es de cuatro enlaces. Ambas redes están conectadas: todos los temas son alcanzables desde cualquier otro. La eliminación de relaciones débiles reduce las rutas disponibles y aumenta el diámetro.

**Tabla 3. Grado e intermediación normalizada de los nodos más relevantes en las temáticas tratadas en el X SIAF y II SIMSP.**

| Tema | Grado | Intermediación normalizada |
|---|---|---|
| Biodiversidad y conectividad | 11 | 0,204261 |
| Microorganismos y bioinsumos | 9 | 0,184298 |
| Saberes y participación | 9 | 0,172231 |
| Educación y extensión | 8 | 0,164499 |
| Agua y riego | 7 | 0,111184 |
| Ganadería y forrajes | 7 | 0,105614 |
| Clima y resiliencia | 9 | 0,094674 |
| Suelos y fertilidad | 8 | 0,039706 |

**Densidad.** Hay 210 conexiones posibles entre 21 nodos, por tanto este valor es de 0,2667, lo que sugiere que la gráfica conserva el 26,67 % de las conexiones posibles. La densidad, por sí sola, tampoco demuestra la existencia de clústeres especializados.

**Nodos centrales.** Conviene distinguir el grado, que cuenta conexiones directas, de la intermediación, que identifica temas situados en los caminos más cortos entre otros temas. Estos son los resultados calculados para la red de la gráfica (tabla 3)

Biodiversidad y conectividad es el principal nodo central de la red filtrada, tanto por grado como por intermediación. Microorganismos, saberes y educación también desempeñan una función destacada de enlace entre contenidos.

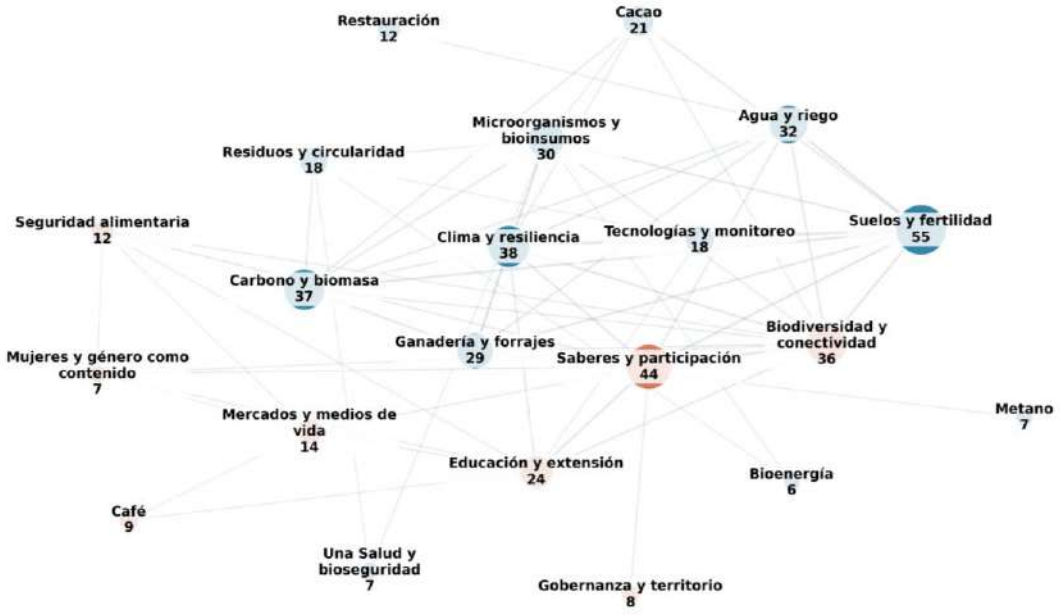



Figura 8. Red de coocurrencia tipo Gephi de las asociaciones entre temas tratados en el X SIAF y II SIMSP

En la figura 8 puede leerse que la partición exploratoria produjo dos grupos y modularidad Q = 0.089. Eso sugiere que hay algo más de conexión interna de la esperada por el modelo aleatorio, pero la agrupación es poco marcada. El valor es bajo y la red es densa, no sustenta escuelas temáticas claramente separadas; pero si sugieren dos brazos temáticos diferenciados por colores, los que fueron ratificados en la interpretación por el vocabulario de contexto que ayuda a diferencias y conectar categorías.

El tamaño de los círculos de la figura representa frecuencia documental. Por eso, Suelos y fertilidad puede ser el tema más frecuente sin tener la mayor intermediación.

Las 12 aristas más relevantes pueden verse en la tabla 4 Como se aprecia en ella los nodos con más peso son Suelos y Fertilidad en la rama de temas biofísicos y Saberes y participación en la temática social; predominan los enlaces entre los nodos Agua y riego + Suelos y fertilidad, y Clima y resiliencia + Suelos y fertilidad comparten 25

contribuciones cada uno; además, suelos y Fertilidad también están conectada con biodiversidad y resiliencia en 23 contribuciones. Esto muestra articulación del discurso, no una relación causal entre variables ni la magnitud de un efecto ecológico. La conexión de Saberes y participación con Biodiversidad y conectividad, como con Suelos y Fertilidad son recurrentes, lo que respalda una lectura socio ecológica de los contenidos. La relación Carbono y biomasa + Ganadería y forrajes fue la menos coocurrente. En la figura 8 puede apreciarse que en los eventos analizados se presentaron coocurrencias predominantes (>23), unas intermedias y otros con nodos emergentes, siendo el nodo metano con baja frecuencia documental y pocos enlaces con Ganadería y forrajes; gobernanza y territorio con saberes y Participación. Bioenergía, es el nodo con menos frecuencia documental.

**Tabla 4. Coocurrencias e índice de Jaccard entre pares de temas identificados en la red**

| Par de temas | Coocurrencias | Jaccard |
|---|---|---|
| Clima y resiliencia + Suelos y fertilidad | 25 | 0.368 |
| Agua y riego + Suelos y fertilidad | 25 | 0.403 |
| Biodiversidad y conectividad + Suelos y fertilidad | 23 | 0.338 |
| Biodiversidad y conectividad + Saberes y participación | 23 | 0.404 |
| Saberes y participación + Suelos y fertilidad | 23 | 0.303 |
| Carbono y biomasa + Suelos y fertilidad | 22 | 0.314 |
| Ganadería y forrajes + Suelos y fertilidad | 19 | 0.292 |
| Biodiversidad y conectividad + Clima y resiliencia | 19 | 0.345 |
| Educación y extensión + Saberes y participación | 19 | 0.388 |
| Clima y resiliencia + Saberes y participación | 18 | 0.281 |
| Microorganismos y bioinsumos + Suelos y fertilidad | 18 | 0.269 |
| Carbono y biomasa + Ganadería y forrajes | 17 | 0.347 |

**Reflexiones finales**

Un aspecto relevante es que el análisis sugiere la relación suelo y microorganismos como interfaz de intervención. Varios resúmenes articulan nutrición vegetal, fertilizantes y enmiendas con procesos biológicos del suelo. Tiene una fuerza de vinculación muy alta. Constituye la densidad temática más elevada del evento; conecta la calidad biológica del suelo en cultivos como cacao, café y especies forrajeras con la sustitución de fertilización sintética. Las investigaciones de micorrización en condiciones frías y cálidas se conectan con forrajes y con la disponibilidad de agua. Un par de trabajos amplían el foco hacia inoculantes nativos, comunidades rizosféricas y sus funciones en cacao. El cacao actúa como un nodo puente principal que conecta la

microbiología aplicada al suelo con el estudio de captura de carbono en el Pacífico, Amazonia y Casanare. El punto de encuentro es el manejo del suelo como soporte productivo y ecológico, más que una sola tecnología. Es relevante que los resúmenes denotan una tendencia de transición desde sistemas basados en insumos de síntesis química hacia practicas basadas en procesos biológicos.

Entre agroecosistemas, biomasa y mitigación climática, hay una fuerza de vinculación alta. Se relacionan los arreglos agroforestales tradicionales y mejorados con servicios ecosistémicos, destacando la cuantificación de carbono aéreo y en horizontes profundos del suelo. Una interpretación cualitativa nos permite sugerir que las contribuciones de carbono distinguen reservorios, especies acompañantes y análisis a diferentes profundidades del suelo, algunos a más de un metro. Hay un consenso que señala que el bosque continúa como mayor reservorio entre los usos comparados. Esto permite hablar de recuperación de carbono en ciertos arreglos frente a pasturas, no de equivalencia automática entre cualquier sistema agroforestal y un bosque.

Un aporte interesante es la necesidad de abordar la relación ganadería y metano entendiendo diferentes mecanismos. Así, algunos trabajos examinan follajes, nutrición y fermentación ruminal como focos de interés en la reducción de emisiones de metano, mientras que otra contribución analiza flujo de metano desde el suelo. Son procesos diferentes. Un metaanálisis informa un efecto global no concluyente y alta heterogeneidad en los estudios. No sería correcto convertir la presencia del tema «metano» en una conclusión general de reducción de emisiones.

Por el lado de las contribuciones sociales, el conocimiento local y gobernanza local presentan una fuerza de vinculación media. Vincula el desarrollo técnico de los SAF con la gobernanza, los medios de vida de familias cafeteras/cacaoteras y la resiliencia socioecológica frente a dinámicas climáticas o de uso del fuego. La participación aparece como una categoría asociada al diagnóstico predial, la selección de especies, la extensión y la recuperación de suelos postincendio. Así, un resumen utiliza percepciones de productores para valorar especies; otras, incorporan la participación en planificación predial; hay trabajos interesantes que relacionan manejo del fuego y conocimiento comunitario. La interpretación conjunta es que el manejo agroforestal depende también de decisiones contextualizadas y recursos disponibles.

El aprendizaje práctico, intercambio entre productores y límites de acceso a asistencia, insumos y financiamiento constituyen temas relevantes en un par de trabajos. Una ponencia se ocupa del tema sobre actores en Casanare, permitiendo diferenciar participación de gobernanza: la existencia de varios actores no significa que la capacidad de decisión esté distribuida de forma equilibrada.

La participación constituye una categoría recurrente. Entre estos estudios, se resalta el papel de las mujeres en procesos de intervención en los bosques húmedos del pacifico colombiano. Dos trabajos vinculan conocimientos locales, organización de mujeres y transformación de un producto del bosque. Uno de los trabajos señala capacidades fortalecidas, productos desarrollados y también limitaciones organizativas, de participación y seguridad territorial. La lectura no debe omitir esas dificultades ni convertir la descripción de un proceso en una medición demostrada de empoderamiento para toda la población.

En cuanto a la economía circular, que incluye biotecnología tiene una Fuerza de Vinculación Alta. Existe una fuerte concentración de investigaciones (principalmente lideradas por Unitrópico y UNIMINUTO) que vinculan la fermentación oscura de residuos con la producción de bioenergía e insumos agrícolas

biofortificados. Se evidencia una línea de valorización de residuos, sustratos y producción de gas, basados en procesos de trasformación de la materia orgánica; estos estudios abordados desde perspectivas del fitorendimiento, bioenergía, inocuidad y escalamiento constituyen temas con gran potencialidad en el estudio de subproductos de los sistemas de producción. Las enmiendas constituyen un puente entre la valorización de biomasa y la inocuidad biológica del suelo. La innovación tecnológica y el monitoreo Espacial presentan una fuerza de vinculación media-alta. Actúa como eje transversal de soporte técnico para evaluar coberturas arbóreas, optimizar la fertirrigación e impulsar la transición digital territorial. Las tecnologías espaciales para estudiar uso del espacio por ganado constituyen un tema emergente en los tópicos agroforestales; en diferentes contribuciones se examina imágenes de acceso gratuito, y la comparación de estrategias de restauración de paisajes, que incluyen las prácticas y decisiones humanas en sistemas cafeteros, ilustrados con casos operacionales.

# RESUMENES

## CONFERENCIAS INTERNACIONALES

## Entre cafetales y pasturas: Macromicetos en sistemas andinos: biodiversidad, conocimiento comunitario y aprovechamiento.

## Amidst Coffee Plantations and Pastures: Macromycetes in Andean Systems—Biodiversity, Community Knowledge, and Utilization

Mario José Añazco Romero[1] y Angie Belén Hernández Hidrobo[2].

[1]Investigador, Grupo de Investigación Ciencias Forestales (GICFOR), Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Técnica del Norte (UTN), Ibarra, Ecuador; [2] Colaboradora Grupo de Investigación Ciencias Forestales (GICFOR), Universidad Técnica del Norte (UTN), Ibarra, Ecuador

mjanazco@utn.edu.ec

**Resumen**

La investigación evalúa el papel de los hongos macromicetos en ecosistemas productivos andinos, destacando su contribución a la biodiversidad, la economía campesina y la restauración ambiental. El estudio abarca tres escenarios en Ecuador: un sistema silvopastoril con *Pinus patula* y pasto kikuyo en La Magdalena (Imbabura), un sistema agroforestal multiestrato con café en Yuyucocha (UTN, Imbabura) y el aprovechamiento comunitario de hongos asociados a *Pinus radiata* en Pesillo (Pichincha). En el componente ecológico, se identificaron 10 taxones de macromicetos en La Magdalena (4 ectomicorrícicos y 5 saprótrofos) y 4 taxones en Yuyucocha, registrando una clara variación temporal con su mayor abundancia durante la época de precipitaciones (marzo-abril). En el ámbito socioeconómico, el grupo de mujeres «Urcu Sisa» de Pesillo lidera la recolección y comercialización de *Suillus luteus*, transmitiendo estos saberes a lo largo de cuatro generaciones. La venta de hongos representa el 33,66 % del ingreso familiar, posicionándose como la principal fuente de ingresos del hogar, con precios que pasaron de 1,50 USD/kg en 1986 a 8,00 USD/kg en 2024. Finalmente, el estudio impulsa una nueva línea sobre micorrizas ericoides en especies altoandinas como el mortiño (*Vaccinium spp.*) y la joyapa (*Macleania spp.*). Mediante técnicas de propagación comunitaria en viveros, se busca reproducir estas plantas y sus hongos asociados para recuperar suelos degradados y fortalecer la conservación participativa.

**Palabras clave:** Macromicetos, sistemas agroforestales, sistemas silvopastoriles, *Suillus luteus*, conocimiento comunitario, Ericáceas, restauración ecológica.

Keyworeds: Macromycetes, agroforestry systems, silvopastoral systems, *Suillus luteus*, community knowledge, Ericaceae, ecological restoration.

# Planificación de experimentos y análisis de datos en sistemas agroforestales.

# Experiment planning and data analysis in agroforestry systems.

Fernando Casanoves[1,2].

[1]Investigador, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE, Turrialba, Costa Rica; [2]profesor asociado, Universidad de la Amazonia, Florencia, Colombia

casanoves@catie.ac.cr

**Resumen**

La presentación aborda los principios metodológicos y estadísticos indispensables para la adecuada planificación de experimentos y el análisis riguroso de datos en sistemas agroforestales (SAF) y silvopastoriles (SSP). En primer lugar, se establece la distinción entre estudios experimentales y observacionales. Mientras que los experimentos controlados permiten asignar tratamientos de forma aleatoria para controlar la variabilidad y favorecer la inferencia causal, los estudios observacionales evalúan poblaciones existentes ofreciendo mayor realismo, aunque con un mayor riesgo de confundimiento. En segundo lugar, se analizan las fuentes de variabilidad y los componentes del error experimental. Este error integra la variabilidad natural junto con errores de tratamiento, de medición, de muestreo, de protocolo y de estimación derivados del uso de modelos o ecuaciones alométricas. Para minimizar estas desviaciones, se requiere una aleatorización estricta, capacitación del personal y la correcta definición de las unidades experimentales. En tercer lugar, la investigación en SAF y SSP enfrenta particularidades complejas vinculadas a interacciones espaciales, temporales y biológicas, además de restricciones logísticas y de área. Para responder a estas restricciones, se recurre a arreglos factoriales, parcelas divididas (*split-plot*) o franjas (*strip-plot*), contemplando los efectos de sombra, el tamaño de las unidades de observación y los efectos de borde. Finalmente, el análisis de datos exige la aplicación de Modelos Lineales Mixtos (MLM) y Modelos Lineales Generalizados Mixtos (MLGM). Estas herramientas estadísticas permiten modelar adecuadamente datos longitudinales con medidas repetidas, varianzas heterogéneas, correlaciones espaciales y efectos aleatorios de bloques o parcelas, evitando la seudorreplicación y asegurando estimaciones precisas e insesgadas.

**Palabras clave:** Planificación experimental, sistemas agroforestales (SAF), sistemas silvopastoriles (SSP), error experimental, modelos lineales mixtos (MLM), correlación espacial, datos longitudinales.

Keywords: Experimental planning, agroforestry systems (AFS), silvopastoral systems (SPS), experimental error, linear mixed models (LMM), spatial correlation, longitudinal data

# Agroforestería y restauración de cuencas hidrográficas

# Agroforestry and Watershed Restoration

Ney Ríos-Ramirez

División de Investigación para el Desarrollo Verde e Inclusivo, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica

ney.rios@catie.ac.cr

**Resumen**

La presentación aborda el papel estratégico de los **Sistemas Agroforestales (SAF)** y los **Sistemas Silvopastoriles (SSP)** en la recuperación de funciones ecosistémicas y productivas dentro de las cuencas hidrográficas, concebidas como sistemas socio-eco-hidrológicos acoplados. En primer lugar, se establece el **enfoque de cuencas** bajo cuatro pilares conceptuales y operativos: **Concepto** (definición de la unidad funcional), **Contexto** (aptitud biofísica y viabilidad socioeconómica), **Sistema** (diseño de componentes y manejo) y **Espacialización** (definición de dónde intervenir prioritariamente en el territorio). Se enfatiza que las acciones en la parte alta de la cuenca (como la deforestación o la agricultura intensiva) alteran los flujos hidrológicos y la calidad del agua aguas abajo. Por ello, las intervenciones agroforestales deben planificarse a lo largo del gradiente altitudinal (cuenca alta, media y baja) y responder directamente a diagnósticos causales de degradación. En segundo lugar, se sintetiza la evidencia científica de diversas experiencias en América Latina y Estados Unidos. Estudios en Costa Rica (*río Jabonal*), Colombia (*río La Vieja*) y proyectos regionales como el *GEF Silvopastoril* demuestran que la integración de árboles en potreros, cercas vivas y franjas ribereñas incrementa sustancialmente la infiltración de agua, reduce la escorrentía superficial, retiene nitrógeno y fósforo, eleva los inventarios de carbono y fomenta la biodiversidad frente a pasturas degradadas. Finalmente, la ponencia concluye que la agroforestería contribuye significativamente a la resiliencia y amortiguación climática. No obstante, el éxito y la permanencia de la restauración dependen de un manejo adaptativo continuo, la participación comunitaria, la adecuada selección de especies según el sitio y la alineación con los medios de vida locales.

**Palabras clave:** sistemas silvopastoriles (SSP), regulación hídrica, servicios ecosistémicos, enfoque de cuencas, gradiente altitudinal.

**Keywords:** *silvopastoral systems (SPS), hydrological regulation, ecosystem services, watershed approach, altitudinal gradient*.

# El nogal andino en Ecuador (Juglans neotropica): Bases científicas para la conservación, el manejo forestal y la bioeconomía sostenible de los paisajes andinos

# The Andean Walnut in Ecuador (Juglans neotropica): Scientific bases for conservation, forest management, and sustainable bioeconomy of Andean landscapes

Mario José Añazco Romero, Hugo Vinicio Vallejos Álvarez, Guillermo David Varela Jácome y Oscar Hernando Eraso Terán.

Universidad Técnica del Norte (UTN), Grupo de Investigación Ciencias Forestales (GICFOR) y Programa de Investigación *Juglans*, Ibarra, Ecuador.

mjanazco@utn.edu.co

**Resumen**

La presentación sintetiza los hallazgos principales de la obra científica sobre el **nogal andino (*Juglans neotropica* Diels)** en Ecuador, desarrollada en el marco del Programa de Investigación *Juglans* de la Universidad Técnica del Norte. El trabajo integra la investigación científica, la evidencia experimental y los saberes locales para orientar la conservación, la silvicultura y la bioeconomía de esta especie autóctona de los Andes. A partir de un enfoque sistémico, el estudio analiza la presencia de *J. neotropica* en un rango altitudinal de 905 a 3.091 m s. n. m. en 14 provincias ecuatorianas, evaluando la pérdida o ganancia potencial de idoneidad climática frente al cambio global. La metodología abarca la revisión de 405 referencias bibliográficas, cerca de 2.000 registros georreferenciados, análisis fenológico bajo la escala BBCH, evaluación de semillas mediante estándares ISTA y cuantificación del almacenamiento de carbono. Entre sus principales aportes técnicos destacan la formulación del primer índice de sitio para la especie en Ecuador, el desarrollo de herramientas biométricas (bases dasométricas, volumétricas y epidométricas) y la caracterización de la arquitectura de copa. Asimismo, se aborda el comportamiento del nogal en diversos escenarios productivos y ecológicos: bosques naturales, enriquecimiento vegetal, plantaciones comerciales, restauración (método Miyawaki) y **sistemas agroforestales** (como la sombra sobre cultivos de café y sistemas asociados). Finalmente, la obra propone un modelo de **Manejo Forestal de Uso Múltiple** enmarcado en la economía circular y la bioeconomía. Este esquema fomenta el aprovechamiento maderable de alto valor, el uso de productos no maderables (frutos y nueces), el reconocimiento de servicios ecosistémicos y el fortalecimiento de cadenas de valor, abriendo oportunidades de investigación complementaria entre Ecuador, Colombia y los países andinos.

**Palabras clave:** manejo forestal sostenible, bioeconomía, sistemas agroforestales, índice de sitio, restauración de paisajes.

**Keywords:***sustainable forest management, bioeconomy, agroforestry systems, site index, landscape restoration.*

# Evaluación de la salud del suelo en sistemas forestales mixtos: una visión general de conceptos, índices y perspectivas futuras.

## *Assessing soil health in mixed forest systems: an overview of concepts, indices, and future perspectives*.

Arthur Prudêncio de Araujo Pereira.

Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.

arthur.prudencio@ufc.br.

**Resumen**

La presentación aborda la evaluación de la salud del suelo en sistemas forestales mixtos frente a los monocultivos tradicionales. A diferencia de los ecosistemas de bosque nativo, caracterizados por una alta diversidad vegetal y microbiana, eficiente reciclaje de nutrientes y buena calidad de materia orgánica, los monocultivos puros de eucalipto experimentan reducciones en los contenidos de carbono y nitrógeno, disminuyendo la actividad enzimática y la conectividad de las redes micorrícicas. Para mitigar este impacto, la investigación analiza la asociación entre especies de rápido crecimiento (*Eucalyptus grandis*) y especies leguminosas fijadoras de nitrógeno (*Acacia mangium*). Utilizando el Marco de Evaluación del Manejo del Suelo (SMAF), se demuestra que las plantaciones mixtas aumentan significativamente las puntuaciones del índice de calidad del suelo (SQI) en comparación con los monocultivos puros de eucalipto. Este beneficio se atribuye de manera determinante a la respuesta favorable de los indicadores biológicos. A nivel bioquímico y funcional, los sistemas mixtos incrementan la biomasa microbiana y potencian la actividad de enzimas involucradas en el ciclaje de carbono, nitrógeno y fósforo, incluso durante rotaciones cortas. Además, la diversidad y riqueza de las comunidades de bacterias, arqueas y hongos —tanto en el suelo mineral como en la capa de hojarasca— se ven ampliamente favorecidas por la heterogeneidad del aporte orgánico. En conclusión, la estructuración de plantaciones forestales mixtas representa una estrategia fundamental para garantizar la sostenibilidad de la silvicultura. La gestión y conservación del microbioma del suelo resulta indispensable para mantener la productividad, resiliencia y salud de los sistemas forestales a largo plazo.

**Palabras clave:** Salud del suelo, plantaciones mixtas, indicadores biológicos, actividad enzimática, microbioma del suelo, *Eucalyptus grandis*, *Acacia mangium*, marco SMAF.

**Keywords**: Soil health, mixed plantations, biological indicators, enzymatic activity, soil microbiome, Eucalyptus grandis, Acacia mangium, SMAF framework

# Biocostras: la piel natural que sostiene los suelos áridos y su biodiversidad

# Biocrusts: The natural skin sustaining arid soils and their biodiversity

Ana Giraldo-Silva[1]

[1] investigadora Ramón & Jacal, Universidad Pública de Navarra (UPNA, Pamplona, España) y responsable del laboratorio Desert Microbes

ana.giraldo@unavarra.es

**Resumen**

La presentación expone el papel fundamental del suelo como un recurso no renovable y principal reservorio de biodiversidad del planeta, albergando aproximadamente el 60 % de los organismos vivos. Frente al continuo deterioro de los suelos áridos desnudos —caracterizados por su inestabilidad física, alta erodabilidad y reducida biomasa microbiana—, la investigación destaca la importancia ecológica de las **biocostras** (biocrusts) para sostener y restaurar estos ecosistemas vulnerables. Las biocostras se estructuran a partir del establecimiento de cianobacterias filamentosas (como *Microcoleus vaginatus*), cuyas vainas de exopolisacáridos aglutinan mecánicamente las partículas del suelo. Este proceso crea la **cianosfera**, una red biológica que estabiliza el sustrato, incrementa la retención de agua y fija nutrientes esenciales. Para masificar la recuperación de tierras degradadas, se presenta el desarrollo de **viveros microbianos** (biocrust microbial nurseries), enfocados en la multiplicación de inóculos a partir de biocostras remanentes. La ponencia detalla cinco aplicaciones clave de esta biotecnología: **Restauración y energía:** Instalación de viveros microbianos en parques solares para mitigar la erosión eólica del suelo y optimizar la eficiencia energética al reducir el polvo sobre los paneles. **Biofertilización agrícola:** Incorporación de biocostras en leñosos (como olivos, cítricos y viñedos), capaces de suplir entre el 7 % y el 14 % de los requerimientos anuales de nitrógeno. **Revegetación:** Apoyo en la repoblación de plantas nativas sometidas a sequía extrema. **Cubiertas vegetales:** Uso como cobertura protectora biodegradables en suelos agrícolas. Y **Control biológico:** Aislamiento de bacterias heterotróficas asociadas a las biocostras para inhibir patógenos que afectan al cultivo de aguacate cv. Hass. En conclusión, los viveros de biocostras ofrecen una solución biotecnológica integral para regenerar suelos áridos, mitigar el cambio climático y promover una agricultura sostenible

**Palabras clave:** cianobacterias filamentosas, suelos áridos, viveros microbianos, restauración de suelos, biofertilizantes, control biológico, cianosfera.

**Keywords:** filamentous cyanobacteria, arid soils, microbial nurseries, soil restoration, biofertilizers, biological control, cyanosphere.

## CONFERENCIAS NACIONALES

# Aportes de los árboles y arbustos para sistemas ganaderos sostenibles para clima cálido, medio y sus aportes para la mitigación de GEI

# Contributions of trees and shrubs to sustainable livestock systems in warm and temperate climates, and their role in GHG mitigation

Nelson Pérez Almario

Investigador Master, AGROSAVIA CI Nataima, Tolima

nperez@agrosavia.co

**Resumen**

La presentación expone el papel estratégico de las especies leñosas perennes dentro de los **Sistemas Silvopastoriles Multipropósito (SSPM)** para transformar la ganadería tradicional en un modelo ambientalmente amigable, productivo y resiliente.En primer lugar, los sistemas silvopastoriles mitigan los impactos de la ganadería al **disminuir la deforestación**, incrementar la capacidad de carga por hectárea, optimizar el reciclaje de nutrientes en el suelo y aumentar la conectividad para la biodiversidad. Asimismo, garantizan servicios ecosistémicos clave como la protección de fuentes hídricas, la purificación del aire, la captura de carbono y la mejora de la belleza escénica del paisaje. En relación con el manejo forrajero y nutricional, se detalla la selección de árboles y arbustos según la densidad de su madera y su aptitud para ramoneo, sombrío o corte y acarreo. Especies como *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia* y *Tithonia diversifolia* destilan un alto valor proteico y gran palatabilidad. Al integrarse con gramíneas de alta calidad (*Brachiaria*, *Megathyrsus*, entre otras), se estructuran dietas balanceadas que estabilizan el sistema y elevan la producción de leche y carne. Finalmente, desde el ámbito económico y climático, la implementación de SSPM incrementa de manera sustancial el **stock total de carbono** (alcanzando hasta 51,28 Mg C/ha en comparación con los 3,50 Mg C/ha del sistema convencional). Además, estos sistemas reducen en un 56% la necesidad de fertilizantes químicos sintéticos, triplican la capacidad de carga (de 1,1 a 3,3 UGG/ha) y mejoran el rendimiento diario de leche por vaca, consolidando a la agroforestería como una solución viable para el desarrollo rural sostenible.

**Palabras clave:** ganadería ecoamigeble; doseles; productividad; carga animal

**Keywords:** eco-friendly livestock farming; canopies; productivity; stocking rate

# Bioestimulantes microbianos como herramientas Biológicas en la mejora de la productividad y resiliencia de las plantas

# Microbial biostimulants as biological tools to improve plant productivity and resilience

Urley Adrian Pérez Moncada

Laboratorio de Microbiología Agrícola, Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Mosquera, Cundinamarca, Colombia

uperez@agrosavia.co

**Resumen**

La presentación aborda los graves desafíos agrícolas derivados del cambio climático, la sequía y la severa degradación de los suelos a nivel global y en Colombia. Frente a las pérdidas sustanciales en el rendimiento de los cultivos y la urgencia de alimentar a una población creciente, la investigación propone la **ingeniería de la rizosfera** y el desarrollo de bioinoculantes de nueva generación basados en microorganismos como una solución biológica clave. El estudio profundiza en la formulación de **consorcios microbianos tripartitos** que combinan hongos micorrízicos arbusculares (HMA, como *Funneliformis mosseae* y *Claroideoglomus claroideum*), levaduras (*Candida guilliermondii*, *Naganishia albida*, *Rhodotorula mucilaginosa*) y bacterias promotoras del crecimiento vegetal (*Bacillus tequilensis*, *Burkholderia caledonica*, *Pseudomonas frederiksbergensis*). Evaluados en cultivos como fresa (*Fragaria × ananassa*), lechuga (*Lactuca sativa*) y trigo (*Triticum aestivum*), estos bioestimulantes desencadenan importantes modulaciones morfológicas, fisiológicas, bioquímicas y metabólicas en las plantas. Bajo condiciones de déficit hídrico, la inoculación de estos consorcios incrementa significativamente la biomasa de brotes y raíces, el contenido relativo de agua, la tasa fotosintética, la conductancia estomática y la absorción de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio. Asimismo, reducen el estrés oxidativo mediante la activación de enzimas antioxidantes (SOD, APX y CAT), la acumulación de osmoprotectores (prolina y trehalosa) y la regulación fina del metaboloma y lipidoma de las membranas tilacoidales. En conclusión, la gestión integral del microbioma rizosférico mediante consorcios microbianos diseñados representa una herramienta biotecnológica altamente eficaz para potenciar la resiliencia climática, restaurar la salud del suelo y asegurar la sostenibilidad de la producción agrícola.

**Palabras clave:** consorcios microbianos tripartitos, hongos micorrízicos arbusculares (HMA), estrés hídrico, ingeniería de la rizosfera, biofertilizantes de última generación.

**Keywords:** tripartite microbial consortia, arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), water stress tolerance, rhizosphere engineering, next-generation bioinoculants.

# Manejo de sombra inducida forestal de tres especies de importancia en silvopasturas: potencialidades en la productividad, salud del suelo y servicios ecosistémicos.

# Forest-induced shade management of three key species in silvopastoral systems: potential in productivity, soil health, and ecosystem services.

Niria Pastora Bonza Pérez[1].

[1]Profesora de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Grupo de Investigación Productos y Procesos del Bosque (PROPROBOS), Bogotá, Colombia, y estudiante del Doctorado en Ciencias Agrarias de la Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.

npbonzap@udistrital.edu.co

**Resumen**

La presentación aborda la problemática de degradación edáfica, vulnerabilidad climática y pérdida de biodiversidad generada por la ganadería extensiva tradicional en Colombia, especialmente en zonas vulnerables como el Bosque Seco Tropical (bs-T). Ante esta situación, se propone la transición hacia **sistemas silvopastoriles (SSP)** como una alternativa de intensificación sostenible orientada a mejorar la productividad, recuperar la salud del suelo y proveer servicios ecosistémicos esenciales. El trabajo examina el **manejo de la sombra inducida forestal** al incorporar tres especies maderables de interés silvopastoril: melina (*Gmelina arborea*), yopo (*Anadenanthera peregrina*) y acacia (*Acacia mangium*), asociadas a la gramínea *Brachiaria decumbens*. A partir de ensayos de campo en el C.I. La Libertad de AGROSAVIA, la investigación evalúa variables clave como la interceptación de radiación fotosintéticamente activa (RAFA) medida con herramientas analizadoras de dosel (Gap Light Analyzer), la disponibilidad y calidad nutricional del forraje, y las propiedades químicas y biológicas del suelo. Adicionalmente, se emplea el simulador forestal explícito espacialmente *SExI-FS* para modelar proyecciones a las edades de 6, 15, 25 y 30 años, estimando el porcentaje de sombra, el incremento medio anual (IMA) y el volumen total en pie. Mediante índices de sostenibilidad multidimensional, se concluye que la integración de *G. arborea* y otras especies leñosas permite alcanzar un punto de equilibrio funcional entre la conservación ambiental (regulación climática e hídrica) y la rentabilidad económica, superando la degradación propia de las pasturas en monocultivo.

***Palabras clave:*** *Gmelina arborea (melina), Anadenanthera peregrina (yopo), Acacia mangium, Brachiaria decumbens, radiación fotosintéticamente activa (RAFA), simulador SExI-FS.*

***Keywords:*** *Gmelina arborea (melina), Anadenanthera peregrina (yopo), Acacia mangium, Brachiaria decumbens, photosynthetically active radiation (PAR), SExI-FS simulator.*

# Producción agroecológica: principios prácticos para el desempeño productivo

# Agroecological production: practical principles for productive performance

Vandreé Julián Palacios Bucheli y Danny Wilson Sanjuanelo Corredor.

Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A), Grupo de Investigación en Producción Agrícola Sostenible, Bogotá D.C., Colombia.

vpalacios@udca.edu.co.

**Resumen**

La presentación expone una serie de principios y prácticas operativas de la producción agroecológica diseñados para optimizar el desempeño productivo y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. La propuesta se estructura a partir de cuatro estrategias agronómicas fundamentales implementadas en parcelas diversificadas de hasta 95 camas y más de 30 especies cultivadas: la rotación, el intercalado, el escalonamiento y el uso de coberturas orgánicas. En primer lugar, la **rotación de cultivos** se planifica según familias botánicas (Solanáceas, Leguminosas, Umbelíferas, Asteráceas, entre otras) y tipos vegetativos (hoja, fruto, leguminosa y raíz). Este manejo interrumpe eficazmente los ciclos de plagas y enfermedades, al tiempo que restituye la fertilidad nutricional del suelo. En segundo lugar, el intercalado combina entre 14 y 25 cultivos simultáneos por periodo, maximizando la eficiencia espacial y la productividad global del área productiva. En tercer lugar, el escalonamiento de las siembras permite mantener una oferta de cosecha constante en el tiempo. Esta práctica garantiza la seguridad alimentaria, satisface de manera continua la demanda del mercado, mitiga las fluctuaciones socioeconómicas de precios y alcanza rendimientos competitivos (superando las 20 Ton/ha) frente a los promedios regionales. Finalmente, la integración de coberturas y la implementación de una biofábrica completan el modelo. Se destaca la elaboración de abono orgánico tipo Bokashi, monitoreando rigurosamente su curva de regulación térmica durante los volteos —desde la fase mesófila inicial, pasando por picos termófilos de hasta 73,4 °C, hasta lograr la maduración y estabilización del bioinsumo—. En conjunto, estas herramientas biotecnológicas y prácticas agroecológicas fortalecen la resiliencia del suelo y aseguran un desempeño productivo eficiente y libre de insumos sintéticos.

**Palabras clave:** rotación de cultivos, intercalado, escalonamiento, coberturas orgánicas, abono Bokashi, biofábrica, seguridad alimentaria.

**Keywords:** *crop rotation, intercropping, staggered planting, organic cover crops, Bokashi compost, biofactory, food security*.

# Sistemas agroforestales y mercados de carbono: oportunidades para transformar la acción climática en desarrollo rural sostenible

# Agroforestry systems and carbon markets: opportunities to transform climate action into sustainable rural development

Alex Saer
Director Ejecutivo, Cercarbono, Colombia
alexsaer@cercarbono.com

**Resumen**

La presentación analiza el potencial de los sistemas agroforestales dentro de los mercados de carbono regulados y voluntarios como mecanismos clave para canalizar inversiones hacia el desarrollo rural sostenible. Los mercados de carbono operan mediante la negociación de unidades verificadas de reducción o remoción de gases de efecto invernadero (GEI). En este contexto, las Soluciones Basadas en la Naturaleza —como la reforestación, la restauración ecológica y los sistemas silvopastoriles— destacan por su capacidad para secuestrar carbono en biomasa y suelo.

Se expone el estándar internacional **Cercarbono**, el cual cuenta con programas de Carbono, Biodiversidad y Economía Circular bajo una misma gobernanza. Reconocido por marcos de integridad global como ICVCM, CORSIA e ICROA, Cercarbono registra 232 proyectos y más de 135,6 $MtCO_2e$ emitidos. Para el sector de uso de la tierra, la metodología **CM-LU-002** permite acreditar remociones integradas en paisajes forestales y productivos mediante reforestación, restauración, revegetación y cultivos agrícolas leñosos. Esta herramienta evalúa reservorios de biomasa aérea y subterránea, madera muerta, hojarasca y carbono orgánico del suelo bajo un sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) robusto e independiente. Asimismo, la ponencia destaca el esquema de **proyectos agrupados**, el cual permite asociar a múltiples productores bajo un mismo sistema de monitoreo, distribuyendo costos sin perder rigor metodológico. Un ejemplo representativo es la iniciativa Carbono Hass, que agrupa a 30 participantes y 1.974,86 ha elegibles de aguacate en Antioquia, Caldas y Risaralda. Finalmente, se presenta el Programa de Biodiversidad, que emite créditos derivados de la puntuación de condición del ecosistema (ECS), generando incentivos económicos complementarios para la conservación.

**Palabras clave:** remoción de GEI, Cercarbono, metodología CM-LU-002, proyectos agrupados, créditos de biodiversidad.

**Keywords:** GHG removal, Cercarbono, CM-LU-002 methodology, grouped projects, biodiversity credits.

# Métodos rápidos y aspectos experimentales claves para evaluar la promoción de crecimiento vegetal: Desde el laboratorio al campo

# Rapid methods and key experimental aspects for evaluating plant growth promotion: From the laboratory to the field

Maryeimy Varón-López[1] y Jairo Mora-Delgado[2], (Eds.)

[1]Profesora asociada, Departamento de Biología, Universidad del Tolima; [2] Profesor titular, Departamento de Producción Pecuaria Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia

mvaronl@ut.edu.co

**Resumen**

El texto comienza examinando la compleja interacción entre microorganismos, plantas y suelo. En el suelo, se integran la microbiota y las plantas, con muchas interacciones y una gran actividad gobernada por esta laboriosa microbiota que constituye una mimesis de un proceso de ensamble, en donde micro-obreros especializados cumplen diferentes funciones. La idea es que los lectores de este texto, se sientan seducidos por las maravillas de estos grupos y sus interacciones. El segundo capítulo, subraya la importancia del fósforo como un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas. El fósforo es un elemento crucial que necesitan para procesos vitales como la transferencia de energía, la síntesis de ácidos nucleicos y la fotosíntesis. Sin embargo, a menudo se encuentra en formas no disponibles para las plantas en el suelo, lo que limita su absorción y, por ende, el crecimiento vegetal. Para abordar este desafío, el texto presenta una metodología para aislar y seleccionar microorganismos solubilizadores de fosfato de forma eficiente y rápida, donde se integran las evaluaciones cualitativas y cuantitativas. Estos microorganismos tienen la capacidad de convertir el fósforo insoluble en formas que las plantas pueden absorber fácilmente. La utilización de estos microbios como inoculantes biológicos es una estrategia prometedora para mejorar la disponibilidad de fósforo en el suelo, lo que podría aumentar la productividad agrícola de manera sostenible y reducir la dependencia de fertilizantes químicos. El tercer capítulo se destaca la importancia de la producción de biomasa vegetal y el área foliar como indicadores clave de la productividad y la salud del ecosistema. El estudio, de diferentes métodos para cuantificar el área foliar, constituye un reto para facilitar esta medición con procedimientos ahorradores de tiempo. La biomasa vegetal es un indicador directo de la cantidad de materia orgánica producida por las plantas, mientras que el área foliar refleja la capacidad fotosintética de una planta. La relación entre el suelo y las plantas es especialmente relevante en los sistemas silvopastoriles, que integran árboles, pastos y ganado en una misma área. Estos sistemas ofrecen múltiples beneficios para el suelo, como la mejora de la fertilidad del suelo, el aumento de la biodiversidad vegetal y microbiana y la reducción de la erosión. En el

cuarto capítulo, se discuten procedimientos para medir las propiedades físicas y microbiológicas del suelo. Las propiedades físicas, como la textura, la estructura y la porosidad, afectan la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes. Por otro lado, los parámetros microbiológicos, como la actividad y la biomasa microbiana, son fundamentales para indicar la degradación de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes. Un estudio de caso presentado en el texto ilustra cómo la introducción de *Gmelina arborea*, un árbol comúnmente utilizado en sistemas silvopastoriles, puede afectar los atributos del suelo y la producción forrajera. La presencia de *G. arborea* puede mejorar la estructura del suelo, aumentar su contenido de materia orgánica y mejorar la disponibilidad de nutrientes, lo que a su vez puede incrementar la producción de forraje. Finalmente, el texto menciona la estructura de un capítulo dedicado a la estadística y el diseño experimental, enfatizando la importancia de los conceptos clave y los métodos estadísticos en la investigación científica. La estadística es esencial para diseñar experimentos de manera efectiva, analizar datos y extraer conclusiones válidas. Un buen diseño experimental permite a los investigadores controlar variables, reducir el sesgo y aumentar la precisión de los resultados. En resumen, el texto ofrece una visión integral de cómo la interacción entre microorganismos, plantas y suelo puede ser optimizada para mejorar la productividad agrícola y la sostenibilidad.

**Palabras clave:** microorganismos, sistemas agroforestales, rizosfera, salud del suelo

**Keywords:** microorganism, agroforestry systems, rizosphere, soil health

# PONENCIAS ORALES

## Mesa 1
## Sistemas Silvopastoriles
## Coordinador: Dr. Jesús Cardoso

### Monitoreo de sistemas silvopastoriles con el uso de sensores remotos

### Monitoring of Silvopastoral Systems Using Remote Sensing

Roberto Piñeros Varón[1], Julián Leal Villamil[2], Jairo Mora Delgado [3]

[1] profesor asistente, departamento de Producción pecuaria, Universidad del Tolima, Ibagué - Tolima; [2] Profesor asistente, departamento de Estudios Interdisciplinarios - IDEAD, Universidad del Tolima, Ibagué - Tolima; [3] Profesor titular, departamento de Producción pecuaria, Universidad del Tolima, Ibagué – Tolima

rpinerosv@ut.edu.co

**Resumen**

Los sistemas silvopastoriles presentan una elevada heterogeneidad espacial derivada de la interacción entre vegetación, topografía, recursos forrajeros y comportamiento animal. Esta complejidad dificulta evaluar mediante métodos convencionales cómo los bovinos utilizan el paisaje. La integración de sensores de posicionamiento, información satelital y sistemas de información geográfica permite caracterizar de manera continua los patrones de desplazamiento, comportamiento y utilización del espacio, constituyendo una herramienta para el monitoreo y manejo de sistemas ganaderos tropicales. El objetivo del presente estudio fue evaluar la aplicación integrada de tecnologías de monitoreo espacial y sensores remotos para caracterizar el comportamiento, desplazamiento, gasto energético y selección espacial de bovinos en un sistema silvopastoril del bosque seco tropical. El estudio se desarrolló en un sistema silvopastoril de 54 ha con árboles dispersos, localizado en Ambalema, Tolima, Colombia. Se monitorearon seis vacas, tres Brahman y tres F1 Holstein × Brahman, mediante receptores GNSS instalados en collares, configurados para registrar posiciones cada 5 min durante dos periodos ambientales contrastantes. La caracterización del terreno se realizó utilizando un modelo digital de elevación ALOS PALSAR de 12,5 m de resolución espacial, del cual se derivaron elevación, pendiente, aspecto y curvatura del perfil. Después del control de calidad se obtuvieron 65.235 registros georreferenciados. Las localizaciones fueron integradas mediante SIG con las variables geomorfométricas. El comportamiento se clasificó en descanso, pastoreo y desplazamiento utilizando umbrales cinemáticos. Además, se estimó el gasto energético locomotor y se ajustó un modelo de selección de recursos mediante regresión logística para determinar la influencia de las características del terreno sobre su utilización. El monitoreo evidenció que 58,5 % de los registros correspondió a descanso, 38,9 % a pastoreo y 2,4 % a desplazamiento. El descanso presentó asociación positiva con superficies convexas, mientras el pastoreo se relacionó principalmente con superficies planas y cóncavas. La velocidad media fue

mayor en superficies planas (0,305 km/h), seguida de las cóncavas (0,301 km/h) y convexas (0,284 km/h). El costo locomotor específico fue superior en superficies cóncavas, alcanzando 0,742 kcal EM/kg/km en Brahman y 0,722 kcal EM/kg/km en F1. El modelo de selección espacial identificó la elevación como la variable de mayor importancia relativa (β = 0,777), seguida por pendiente (β = 0,120), curvatura (β = 0,082) y aspecto (β = 0,053), con capacidad discriminatoria moderada. La integración de sensores GNSS, información derivada de sensores remotos y análisis SIG permitió identificar patrones espaciales de comportamiento y gasto energético que no serían fácilmente detectables mediante monitoreo convencional. La topografía condicionó la utilización del sistema silvopastoril, demostrando el potencial de estas tecnologías para *delimitar áreas de uso preferencial y apoyar estrategias de ganadería de precisión y manejo sostenible.*

**Palabras claves:** biotelemetría; geomorfometría; ganadería de precisión

**Keywords:** biotelemetry; geomorphometry; precision livestock farming

# Costo evitado en la práctica fertilizante como servicio ecosistémico del carbono orgánico del suelo, en un sistema de producción ganadera en San Martín, Meta.

# Avoided cost in practice fertilizer as an ecosystem service of soil organic carbon, in a livestock production system in San Martín, Meta.

Fernando Colorado L.[1]; Melissa L. Gutierrez[2]; Jaime Roa T.[3]

[1]Docente de tiempo completo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Bogotá; [2] investigador Instituto Geográfico Agustín Codazzil; [3]Docente catedrático, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Bogotá

fcolorad@udca.edu.co

**Resumen**

Los servicios ecosistémicos del suelo, aparte de proveer beneficios a los seres vivos y al planeta, hacen parte del complejo mecanismo de resiliencia de este último, afectado por el cambio climático. La mayoría de los sistemas ganaderos en Colombia se caracterizan por emplear vastas extensiones de tierra, con un potencial importante como sumideros de carbono, esto, en función del manejo que se le dé al sistema suelo-pastura-ganado. En la finca El Exterior del municipio de San Martín, Meta, se viene adelantando un Programa de mejoramiento de praderas con rotación de especies transitorias, como la patilla (*Citrullus lanatus*), con el fin de mejorar la fertilidad de los suelos. El presente estudio hace parte de los resultados parciales del Programa y evalúo el costo evitado en la práctica fertilizante como servicio ecosistémico del carbono orgánico del suelo en tres sistemas de manejo de la pradera: *Manejo de pradera rotacional en monocultivo, RM; Renovación de pradera a través de cultivo transitorio, RP; Sistema silvopastoril, SSP*. Se cuantificó el carbono orgánico del suelo (COS) almacenado durante dos años, la disponibilidad de nutrientes al cabo de ese periodo y el costo evitado en la fertilización por sistema de manejo, como efecto del COS sobre la práctica fertilizante. Los resultados indican un ahorro en el uso de fertilizantes en el SSP y la RP, comparados con el RM, aparte del incremento del COS en estos sistemas de manejo.

**Palabras Clave:** Costo evitado, servicio ecosistémico, carbono orgánico del suelo

**Keywords:** Cost avoided, ecosystem service, soil organic carbon

# El arreglo silvopastoril de cerca viva como medio de mitigación del cambio climático a través del almacenamiento de carbono aéreo y subterráneo del componente leñoso. Estudio de caso de la finca El Cardonal, Ubaque, Cundinamarca

# Live fencing silvopastoral arrangement for climate change mitigation through below and above ground carbon storage of the woody componnet. Study case of the El Cardonal farm in Ubaque, Cundinamarca

Javier Roberto Gonzáles Guarín [1*], Vandreé Julián Palacios Bucheli [2]

[1] Profesor del Programa de Zootecnia, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Bogotá; [2] Profesor del Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Bogotá

javgonzalez@udca.edu.co

Resumen

La producción agropecuaria bajo esquemas convencionales e industriales ha generado problemas ambientales como la pérdida de biodiversidad, la contaminación de los suelos y fuentes hídricas y la liberación de gases de efecto invernadero. Así como también, de ser la causante de enfermedades como el cáncer asociado a las fumigaciones, asuntos sociales como el desplazamiento y la desposesión, y con consecuencias económicas por ejemplo para la reparación de ecosistemas degradados o los costos en salud pública. Los sistemas agroforestales proveen servicios ecosistémicos de regulación que están directamente relacionados con la mitigación del cambio climático, en particular, por su bondad de almacenar carbono. El presente estudio busca determinar el carbono aéreo y subterráneo que el arreglo silvopastoril de cerca viva almacena en su componente leñoso. El estudio se llevó a cabo en la vereda Belén, del municipio de Ubaque, específicamente, en la finca El Cardonal, la cual está ubicada en las coordenadas 4°29'36'' de latitud Norte y 74°01'34'' de longitud Oeste. Se evaluaron tres cercas dentro del área de estudio, cada una de 100 m de longitud y 10 m de ancho, donde se incluyeron todos los individuos con diámetro a altura de pecho DAP mayor a 10 cm. Cada individuo fue identificado y se tomaron variables dasométricas de altura total y DAP, la altura se determinó con la ayuda del hipsómetro y el DAP con cinta diamétrica. Para la estimación del carbono aéreo se utilizó la formula alométrica desarrollada por Chave et al (2014) para especies tropicales (BAK= 0,0673 ($p$*DAP*H)$^{0,976}$), donde $p$ corresponde a la densidad de la madera (g/cm$^3$), y H es la altura total (m). Para el cálculo de la biomasa subterránea se utilizó la fórmula desarrollada por Caims et al (1997) (BSK= Exp (-1,805+0,926 Ln(Biomasa aérea))), donde Exp es el exponencial y Ln el logaritmo natural. La densidad de las especies se obtuvo a través de la búsqueda en bases de datos y literatura científica, en algunos casos cuando la búsqueda limitó datos a nivel de especie, se obtuvieron a nivel de género. El carbono total se estimó sumando la biomasa aérea y subterránea y multiplicando por 0,47. Posteriormente, el cálculo de cada una de las tres cercas se agregó y se obtuvo el promedio. Para el análisis los resultados se estimaron en valores de kg/ha de carbono almacenado, y

finalmente, multiplicados por 3,67 como factor de conversión a $CO_2$ que compensa por no se emitido a la atmósfera. Se identificaron 15 especies en el estudio, *Weinmannia tomentosa* es la especie que tiene mayor cantidad de carbono almacenado del estudio (0,74930 kg), seguido de *Acacia decurrens* (0,64240 kg) y *Clusia* sp. (0,29992 kg). El carbono total almacenado en los 3000 $m^2$ del estudio es de 2,0 kg, esto corresponde a 6,6 kg/ha. En promedio una cerca viva de 1000 $m^2$ almacena 0,72335 kg, correspondientes a 7,2 kg/ha. Se concluye que una hectárea de cerca viva está compensando con la no emisión de 26,5 kg de $CO_2$. La adopción de cercas vivas en los sistemas ganaderos es una medida urgente para mitigar los efectos del cambio climático.

**Palabras Clave:** biomasa aérea, emisión de $CO_2$, fórmula alométrica

**Keywords:** above ground biomass, allometric equation, $CO_2$ emissions

# Local perceptions on species selection for silvopastoral systems in highland landscapes of Cundinamarca and Bogotá

# Percepciones locales sobre la selección de especies para sistemas silvopastoriles en paisajes de tierras altas de Cundinamarca y Bogotá.

Vandreé Julian Palacios Bucheli[1]; Juan C. Páez Navarrete[2]; Johan D. Cundumí Caicedo[3]

[1.]Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, PhD en Ciencia Agrarias, [2.] Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Ingeniero Agronómico, [3.] Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Ingeniero Agronómico

vpalacios@udca.edu.co

Abstract.

The adoption of woody perennial species within livestock production in the highland landscapes of Cundinamarca and Bogotá remains low. This challenge is primarily due to a knowledge gap regarding the ecosystem services provided by biodiversity, the complexity of implementation and management, competition between woody perennials and pastures, and a lack of governmental support for agroforestry. Consequently, livestock production suffers from low yields and income, along with environmental issues such as pasture degradation, soil erosion, water pollution, and greenhouse gas emissions. This research aims to characterize the species diversity in silvopastoral systems, identify relevant woody perennial species based on local perceptions, and determine the ideal features of these species. The study was conducted in the suburban area of Bogotá (Mochuelo Alto village), Hato Grande village (Suesca municipality, Cundinamarca), and the municipalities of Chipaque and Ubaque (Cundinamarca). Surveys were administered to 23 livestock producers identified through the snowball sampling method. A total of 29 species features were established based on a literature review. Producers rated each feature from zero (not relevant) to three (very relevant). The scores were weighted, averaged, and multiplied by the relative frequency of each feature to calculate the Feature Index (FI): FI = nipn*(fr). The FI values ranged from zero to three and were grouped into nine clusters: canopy, leaves, forage, disservices for livestock, agrarian function, animal welfare, regulating ecosystem services, pruning, and environmental adaptation. The Cluster Index (CI) was then determined: CI = miFI/m. Suitable species for silvopastoral systems were identified through surveys and a literature review. The suitable woody perennial species to adopt were obtained considering the CI, which was multiplied by the number of times the species were mentioned during the survey (Relevant woody perennial species = riCI). The results indicated 28 woody perennial species, 14 pastures and forage species, and three livestock species in Chipaque and Ubaque; 21 woody perennials, eight pastures and forage, and two livestock species in Hato Grande; and 23 woody perennials, nine pastures and herbaceous species, and two livestock races in Mochuelo Alto. Seven species were identified as most appropriate based on local perceptions: *Alnus acuminata*, *Sambucus nigra*, *Smallanthus pyramidalis*, *Quercus humboldtii*, *Ficus andicola*, *Oreopanax floribundus*, and *Bougainvillea* spp. Key desired features included umbrella canopy, permanent leaves, forage and continuous production, low toxicity for livestock, high biomass productivity, multipurpose use, Resistance to fire, illness, and pests, high protein content, soil improvement, pruning

tolerance, and pasture compatibility. Protecting and adopting the woody perennial component within silvopastoral systems supports wildlife habitats through biological corridors that provide food and resources. Furthermore, it promotes soil quality improvement by decreasing soil temperature, enhances air quality, diversifies farm productivity, and increase household income.

**Keywords:** Cluster index, livestock, woody perennial species.
**Palabras clave: Índice de clúster, ganado, especies leñosas perennes.**

# Arreglo silvopastoril de árboles dispersos como medio de mitigación del cambio climático a través del almacenamiento de carbono. Estudio de caso de la finca Los Tocuas, San Francisco de Sales, Cundinamarca

# Silvopastoral arrangement of scattered trees as a means of climate change mitigation through carbon storage: A study case of the Los Tocuas farm, San Francisco de Sales, Cundinamarca.

Mario José Rodríguez Martínez[1], Vandreé Julián Palacios Bucheli[2]

[1]Profesor del Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad de Cundinamarca, Cadena Agroforestal, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Facatativá; [2]Profesor del Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Bogotá

mjoserodriguez@ucundinamarca.edu.co

**Resumen**

La ganadería convencional ha sido señalada como una de las actividades de la producción agropecuaria con mayor impacto sobre los ecosistemas, debido a procesos como la pérdida de biodiversidad, la compactación y degradación de los suelos, la contaminación de fuentes hídricas, resistencia de plagas y la emisión de gases de efecto invernadero. Frente a esta problemática, los sistemas silvopastoriles son una alternativa productiva que integra árboles y ganadería, favoreciendo el bienestar animal, así como también la provisión de servicios ecosistémicos, entre ellos el almacenamiento de carbono, la mitigación del cambio climático y el mantenimiento de la biodiversidad. El presente estudio tuvo como objetivo estimar el carbono aéreo y subterráneo almacenado en el componente leñoso de un arreglo silvopastoril de árboles dispersos en potreros. La investigación se desarrolló en la finca Los Tocuas, ubicada en la vereda Toriba, municipio de San Francisco de Sales (Cundinamarca, Colombia). Se evaluaron tres lotes de aproximadamente una fanegada (6400 $m^2$) cada uno, incluyendo todos los individuos arbóreos con diámetro a la altura del pecho (DAP) superior a 10 cm. Para cada árbol se registró la especie y se midieron variables dasométricas como altura total, DAP y área de copa. La altura fue determinada con la ayuda del hipsómetro, mientras que las demás variables se obtuvieron con cinta diamétrica y métrica. La biomasa aérea fue estimada mediante la ecuación alométrica desarrollada por Chave et al. (2014) para especies tropicales, utilizando como variables la densidad de la madera, el DAP y la altura total. La biomasa subterránea se calculó a partir de la ecuación propuesta por Cairns et al. (1997). Los valores de densidad de la madera fueron obtenidos de literatura científica y bases de datos especializadas. El carbono almacenado se estimó como el 47 % de la biomasa total (aérea y subterránea), y posteriormente los resultados fueron expresados en kg/ha de carbono y convertidos a equivalentes de $CO_2$ mediante un factor de 3,67. Se identificaron 31 especies arbóreas distribuidas en los tres lotes evaluados. Las especies con mayor contribución al almacenamiento de carbono fueron *Retrophyllum rospigliosii* (0,595 kg), *Eucalyptus globulus* (0,352 kg) y *Fraxinus uhdei* (0,103 kg). Un área promedio de 242,2

$m^2$ de dosel de árboles dispersos presentó un almacenamiento promedio de 0,75 kg de carbono, equivalente a 31 kg de carbono por hectárea. El arreglo silvopastoril analizado está contribuyendo con la no liberación de 2,79 kg de $CO_2$. Los resultados evidencian que la presencia de árboles dispersos en sistemas ganaderos contribuye al secuestro de carbono y a la mitigación del cambio climático, al tiempo que fortalece la sostenibilidad de los agroecosistemas. La implementación de arreglos silvopastoriles constituye una estrategia viable para promover la producción pecuaria, la conservación ambiental y la prestación de servicios ecosistémicos.

**Palabras clave:** ganadería, biodiversidad, servicios ecosistémicos.
**Key words:** livestock farming, biodiversity, ecosystem services.

# Caracterización de la oferta forrajera consumida por el ganado bovino en sistemas ganaderos de sabanas inundables de Paz de Ariporo, Casanare: estudio de caso y primeros avances

# Characterization of forage consumed by cattle in flooded savanna livestock systems in Paz de Ariporo, Casanare: case study and preliminary findings

Vanessa A Sua Poblador[1]

[1] Estudiante de Ingeniería Agroforestal, Casanare, Universidad Internacional del Trópico Americano UNITRÓPICO, Yopal
Vanessasua.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

Las sabanas inundables de la Orinoquia colombiana constituyen ecosistemas de importancia ecológica y productiva para la ganadería bovina, donde la disponibilidad y composición de los recursos forrajeros están condicionadas por la dinámica estacional de inundación y sequía. Los productores han desarrollado conocimientos locales que les permiten reconocer especies relevantes para la alimentación del ganado y asociarlas con características de disponibilidad y aprovechamiento. Sin embargo, persisten vacíos de información sobre la composición de la oferta forrajera disponible y consumida, así como sobre las características nutricionales de las especies que la conforman. Su caracterización permite articular el conocimiento local con información botánica, ecológica y nutricional para comprender los recursos que sustentan estos sistemas ganaderos. La investigación tiene como objetivo caracterizar la oferta forrajera consumida por el ganado bovino en sistemas ganaderos de sabanas inundables de Paz de Ariporo, Casanare, mediante la integración del conocimiento local de los productores con la caracterización botánica, estimación de biomasa y evaluación de la calidad bromatológica de las especies representativas. El estudio se desarrolla bajo un enfoque cualitativo y descriptivo, con perspectiva participativa y de estudio de caso, incorporando diálogo de saberes para orientar la identificación y priorización de los recursos forrajeros. La caracterización de la vegetación contempla recorridos y observación directa, identificación de especies y estimación de biomasa, complementada posteriormente con la selección de especies representativas para su caracterización bromatológica. Como primeros avances, los aforos realizados en una zona baja de la sabana permitieron estimar una biomasa seca de 225 g/m², equivalente a 2.250 kg de materia seca/ha. Este resultado constituye una primera aproximación a la disponibilidad de forraje en el área evaluada y evidencia la necesidad de complementar la cuantificación de biomasa con información sobre composición y aprovechamiento por el ganado. A partir del conocimiento aportado por el productor y de la observación directa, se identificó la Guaratara *(Axonopus purpusii)* como una especie dominante y de importancia dentro de la alimentación bovina. El productor la relaciona además con buenos resultados de ganancia de peso, constituyendo este conocimiento local un referente para orientar su posterior caracterización y contrastar su importancia dentro de la oferta forrajera.

A manera de conclusión estos primeros hallazgos sugieren que la cantidad de biomasa disponible no permite, por sí sola, explicar la importancia alimentaria de los recursos forrajeros. La integración del conocimiento local con la caracterización de la vegetación y la posterior evaluación nutricional permitirá relacionar disponibilidad, composición,

aprovechamiento y calidad del forraje. Como estudio de caso en desarrollo, la investigación busca aportar información para comprender los recursos que sustentan la ganadería en las sábanas inundables de Paz de Ariporo y generar elementos que contribuyan al manejo de estos sistemas de acuerdo con sus condiciones ecológicas y productivas.

**Palabras Clave:** Recursos forrajeros, biomasa, caracterización bromatológica

**Keywords:** Forage resources, biomass, bromatological characterization

# Especies leñosas forrajeras en caprinocultura: evidencia sobre aportes productivos y ambientales para sistemas silvopastoriles

# Woody Forage Species in Goat Farming: evidence on productive and environmental contributions for tropical silvopastoral systems

Jorge D. Vásquez Díaz[1] y Jorge R. Serrano[2]

[1]Estudiante Maestría en Desarrollo Rural, Universidad del Tolima, Ibagué; [2]Docente de tiempo completo, Departamento de Producción Pecuaria, Universidad del Tolima, Ibagué

jdvasquezd@ut.edu.co

**Resumen**

**Introducción:** En la caprinocultura tropical, la estacionalidad de las pasturas y el costo de los concentrados elevan los costos de alimentación y aumentan la vulnerabilidad de las unidades familiares. Los árboles y arbustos forrajeros pueden aportar biomasa perenne, proteína y minerales, además de diversificar la dieta y aportar servicios ecosistémicos; no obstante, su utilidad depende del consumo de materia seca, el equilibrio de la dieta, el manejo del rebrote y los metabolitos secundarios. **Objetivo:** Analizar críticamente la evidencia sobre el valor nutricional, la respuesta productiva, los aportes ambientales y las restricciones de especies leñosas utilizadas en la alimentación de caprinos tropicales. **Métodos:** Se realizó una investigación documental basada en la revisión de artículos científicos publicados entre 2016 y 2026. Se priorizaron estudios primarios *in vivo* con caprinos e investigaciones agronómicas tropicales para interpretar oferta y manejo de follaje. Se compararon valor nutritivo, consumo, digestibilidad, ganancia de peso, producción láctea, sustitución de concentrados, compuestos antinutricionales y condicionantes de manejo, separando resultados caprinos de los obtenidos en otros rumiantes. Resultados: La evidencia analizada se concentró en *Leucaena leucocephala*, *Moringa oleifera*, *Gliricidia sepium*, *Tithonia diversifolia*, *Morus alba* y *Guazuma ulmifolia*. Su follaje aportó proteína y minerales y permitió sustituir parcialmente concentrados sin deteriorar el desempeño, siempre que la inclusión fuera moderada y la dieta estuviera equilibrada. En Colombia, arreglos con *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Crescentia cujete* lograron ganancias de 22,5 a 33,6 g por animal por día, frente a 13,2 g por animal por día en una gramínea bajo condiciones comparables. En *Moringa oleifera* se observaron mejoras de crecimiento y eficiencia, además de menor metano en algunas dietas, aunque la respuesta varió entre etapas productivas. La humedad de *Tithonia diversifolia* puede restringir el consumo de materia seca; el secado mejora el aprovechamiento de *Gliricidia sepium*; y el uso de leucaena exige adaptación gradual y vigilancia de mimosina y taninos. La reducción de metano fue más sólida por unidad de alimento consumido o digerido que en emisiones diarias absolutas.

**Conclusiones:** Las especies leñosas pueden intensificar la caprinocultura con base agroecológica, pero no son insumos intercambiables ni una solución aislada. Su adopción debe combinar selección local, bancos de forraje o ramoneo controlado, cosecha oportuna, conservación para el período seco y formulación según la categoría animal. Para el departamento del Tolima se requieren validaciones participativas que integren productividad, costo, salud, disponibilidad estacional, respuesta ambiental y autonomía familiar.

**Palabras clave**: ramoneo; caprinocultura; sistemas silvopastoriles

**Keywords**: browsing; goat farming; silvopastoral systems

# Mesa 2
# Territorios y cambio climático
# Coordinador: Dr. Miguel Barrios

## Leer el agua en el territorio: Variabilidad y cambio climático en cuencas andinas

## Reading water in the territory: Climate variability and change in Andean basins

Miguel Ignacio Barrios Peña[1]

[1]Grupo de Investigación Cuencas Hidrográficas - Waterlab, Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima.

mibarrios@ut.edu.co

**Resumen**

La presentación examina la dinámica hidrológica en las cuencas andinas frente a la variabilidad climática y el cambio climático, destacando la necesidad de comprender estas interacciones a escala territorial. En primer lugar, se establece que la cuenca es la unidad funcional donde el clima actúa como elemento forzante de la entrada de agua, mientras que el **uso del suelo** determina su distribución entre infiltración, escorrentía, evapotranspiración y recarga. Se diferencia entre la variabilidad climática interanual —dominada en Colombia por el fenómeno ENOS (El Niño / La Niña)— y el cambio climático antrópico, el cual intensifica los eventos extremos y proyecta un incremento térmico de +1,5 a 2 °C hacia 205038. Asimismo, se aborda la propagación de la sequía a través de sus fases meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica. En segundo lugar, se presentan avances aplicados en el departamento del Tolima para superar las limitaciones de redes hidrometeorológicas. Destaca el uso de modelos de **aprendizaje automático** (como *XGBoost*) para estimar campos diarios de precipitación ($R^2 > 0,8$ en validación). Adicionalmente, se expone el desarrollo del **Índice de Sequía Agrícola (SMODI)**, el cual integra datos meteorológicos, agua libre en el suelo y el factor de estrés fisiológico vegetal, funcionando como un puente conceptual entre la hidrología y la agroforestería. Finalmente, la investigación demuestra que las propiedades hidráulicas del suelo y la magnitud de los caudales de crecida escalan en función del uso de la tierra. Por lo tanto, se concluye que los sistemas agroforestales (SAF) y las coberturas de restauración deben diseñarse y evaluarse como reguladores hídricos a escala de cuenca —y no solo a nivel de predio— para potenciar los sistemas de alerta temprana y la adaptación del territorio.

Palabras clave: variabilidad climática, cambio climático, respuesta hidrológica, sequía agrícola, SMODI, uso del suelo, sistemas agroforestales (SAF)1more_horiz.

Keywords: climate variability, climate change, hydrological response, agricultural drought, SMODI, land use, agroforestry systems1more_horiz.

# Machine learning aplicado al futuro del territorio: propuestas prospectivas para el cambio de cobertura del suelo en la microcuenca La Rasta, Imués, Nariño

# Machine Learning Applied to the Future of the Territory: Prospective Proposals for Land Cover Change in the La Rasta Micro-watershed, Imués, Nariño

Álvaro Javier Ceballos Freirea[1], Diego Andrés Muñoz Guerrero[1], José Julián Apraez Muñozc[1], Marisol de la Cruz Pinta[4].

[1]Docente Universidad de Nariño, Pasto, Colombia; [2]Ingeniera ambiental, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia

aceb1980@udenar.edu.co

**Resumen**

Esta investigación tuvo como objetivo desarrollar una propuesta prospectiva para el cambio de cobertura del suelo en la microcuenca La Rasta, ubicada en el municipio de Imués, aplicando técnicas de Machine Learning para el análisis y modelado de escenarios futuros. La propuesta se fundamentó en un estudio multitemporal de la microcuenca que generó el análisis prospectivo. Inicialmente, se crearon mapas de cobertura del suelo correspondientes a los años 1989 y 2023 mediante clasificación supervisada con algoritmos de aprendizaje automático, permitiendo identificar la dinámica de cambios en este periodo y sentando las bases para construir un modelo prospectivo de coberturas hacia el año 2050. Este enfoque facilitó el análisis de variables críticas que influyeron significativamente en los cambios y su impacto en la microcuenca. En colaboración con la comunidad local, se diseñaron alternativas de mejora para optimizar las coberturas y la calidad del suelo a lo largo del tiempo. La participación de la comunidad de Imués enriqueció el proceso, al aportar conocimientos territoriales. Tras obtener estas alternativas y variables, se propuso un modelo ajustado apoyado en técnicas predictivas de Machine Learning, que destacó los cambios direccionados hacia una menor degradación del suelo, promoviendo la conservación de las fuentes hídricas, flora y fauna silvestre, así como la preservación de la familia como componente fundamental de la agricultura. Este enfoque reveló la viabilidad de generar propuestas ambientales mediante modelos prospectivos basados en aprendizaje automático, para lograr una distribución y apropiación mejorada del territorio, contribuyendo a su conservación.

**Palabras Clave:** cobertura del suelo; análisis multitemporal; modelo prospectivo; conservación ambiental; participación comunitaria, Machine Learning

**Keywords:** Land cover; Multitemporal analysis; Prospective model; Environmental conservation; Community participation, Machine Learning

# Plan Mi Finca: estrategia de planificación predial participativa para la acción climática en sistemas productivos rurales de la Orinoquia

# My Farm Plan: A Participatory Farm Planning Strategy for Climate Action in Rural Production Systems of the Orinoquia Region

Angie D Caro Estrada [1]

[1]Profesora, Universidad Internacional del Trópico Americano UNITRÓPICO, Yopal

angiecaro@unitropico.edu.co

**Resumen**

La planificación predial participativa se configura como una estrategia clave para enfrentar los desafíos del cambio climático en sistemas productivos rurales. En este contexto, Plan Mi Finca: estrategia de planificación predial participativa para la adaptación y mitigación del cambio climático tiene como **objetivo** el aprendizaje académico con el trabajo en territorio, promoviendo la construcción conjunta de soluciones sostenibles entre estudiantes y productores. Metodológicamente, esta estrategia se implementa en el marco del curso Electiva Profesional II: Cambio Climático, con estudiantes de noveno semestre de Ingeniería Agroforestal, y se orienta a generar alternativas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en sistemas productivos rurales. La metodología es de carácter participativo y reconoce al productor como actor central en la construcción de conocimiento, integrando herramientas como el diálogo de saberes, el intercambio campesino a campesino, los mapas parlantes, entrevistas y la observación directa. El proceso se desarrolla en tres fases articuladas. En la primera, correspondiente al diagnóstico productivo y de percepción ambiental del predio, se recopila información sobre suelos, agua, biodiversidad, sistemas productivos y prácticas de manejo mediante la aplicación de cuatro encuestas (social, productiva, ambiental y percepción del cambio climático). Como parte central de esta fase, se construyen dos mapas: uno del estado actual de la finca y otro que representa la visión futura del productor bajo criterios de sostenibilidad, permitiendo identificar problemáticas, oportunidades y aspiraciones del sistema productivo. En la segunda fase, de planificación predial participativa, se priorizan problemáticas y oportunidades junto con los productores, y se elaboran mapas productivos y ambientales que integran los usos del suelo, la infraestructura, las fuentes hídricas y las áreas de conservación. Este proceso se materializa en el plan “Mi finca”, concebido como un instrumento de planificación que orienta el uso sostenible de los recursos del predio y busca potenciar la implementación de sistemas agroforestales y otras soluciones sostenibles desde el territorio. En la tercera fase se diseñan estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, consolidando el plan “Mi finca” como un plan integral predial con propuestas técnicas y sostenibles, ajustadas al contexto local. Este proceso se basa en la construcción colectiva, donde el productor participa activamente en el diseño de las soluciones, fortaleciendo su pertinencia y aplicabilidad. Como **resultado**, la estrategia fortalece en los estudiantes el liderazgo en procesos de transformación frente al cambio climático, así como la apropiación de las problemáticas de su territorio y la capacidad de formular alternativas sostenibles en contextos rurales. En los productores, se generan documentos de planificación predial que funcionan como herramientas de gestión y orientación para la toma de decisiones y el uso eficiente de los recursos naturales, orientados hacia la sostenibilidad productiva. Asimismo, se integra un enfoque contextualizado que fortalece la comprensión y el abordaje del cambio climático en escenarios rurales. En **conclusión**, esta experiencia evidencia el potencial de la planificación predial participativa para articular conocimiento académico y saberes locales, contribuyendo a la construcción de soluciones sostenibles y contextualizadas frente al cambio climático en sistemas productivos rurales.

**Palabras Clave**: sistemas agroforestales, dialogo de saberes, construcción colectiva

**Keywords**: agroforestry systems, dialogue of knowledge, collective construction

# Redesign and automation of irrigation in a commercial blueberry crop *Vaccinium corymbosum* with an ecosystem approach

# Rediseño y automatización del riego en un cultivo comercial de arándano *Vaccinium corymbosum* con un enfoque ecosistémico.

Angie K. Navarrete Rodríguez[1]; Brainer F. Puga Montoya[2]; Helber M. Orjuela-Matta[3]

[1]Student, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA, Bogotá; [2] Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA, Bogotá, Colombia; [3] Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA, Bogotá, Colombia.

anavarreter@udca.edu.co

**Resumen**

**Introduction:** In Andean agricultural systems, water management is a key ecosystem service that directly influences productivity, climate resilience, and long-term sustainability. Blueberry crops are particularly sensitive to variations in soil moisture and microclimatic conditions. Inefficient irrigation management can compromise production and agroecosystem balance. Irrigation automation within an ecosystem-based approach can optimize water use, reduce losses, improve microclimate regulation, and generate data to support agronomic decisions aligned with agroecological principles. **Objective:** To redesign the drip irrigation system of a commercial blueberry crop in Lenguazaque, Cundinamarca, incorporating hydraulic verification, flow-rate calculations, and automation to increase water-use efficiency and strengthen environmental monitoring oriented toward ecosystem services. **Methods:** The study was conducted on a 0.74 ha farm with 4,600 plants at 2,570 m above sea level. The crop design was characterized, with 0.75 m between plants, 2.10 m between rows, and 51 rows. The existing drip irrigation system was evaluated, including emitters of 1.2 L $h^{-1}$, spaced every 0.15 m, and 25.4 mm tubing. Hydraulic verification and flow calculations per block and plot were performed. The incorporation of temperature and relative-humidity sensors, automatic solenoid valves, and a control screen was proposed to automate and continuously record environmental variables for irrigation scheduling adjustments. **Results:** The diagnosis revealed limitations in manual operation, with risks of non-uniform water application. Hydraulic verification identified opportunities to improve pressure and flow distribution. The proposed automation enables precision irrigation based on crop needs and microclimatic conditions, reduces water consumption by up to 15 %, and enables monitoring of soil moisture, temperature, and relative humidity. **Conclusions:** The redesign and automation of the irrigation system is a technical strategy for sustainable blueberry production. By improving water-use efficiency and environmental monitoring, it strengthens water-resource regulation, microclimate stabilization, and productive sustainability. This approach reduces dependence on manual practices, minimizes water waste, and supports the future integration of the crop into more complex and resilient systems.

**Palabras clave: Hidráulica, microclima, resiliencia**

**Keywords:** hydraulics, microclimate, resilience.

# Diagnóstico previo para la restauración ecológica productiva: factores limitantes y tensionantes en Lloró, Pacífico colombiano

# Pre-restoration diagnosis for ecological restoration in productive landscapes: limiting factors and stressors in Lloró, colombian Pacific

**David Fernando Pérez Abadia[1], José Harry Copete Arroyo[1] y Neris Alberto Carpio Guático[1]**

[1]Programa de Ingeniería Agroforestal, Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba, Quibdó, Chocó, Colombia

davidfernandoperez@gmail.com

**Resumen**

**Introducción.** En el Pacífico colombiano, iniciar la restauración ecológica productiva con la selección de especies y el establecimiento de coberturas, sin determinar previamente si la recuperación está restringida por condiciones intrínsecas del sitio o por presiones antrópicas aún activas, puede conducir a baja supervivencia, uso ineficiente de enmiendas y trayectorias incompatibles con la funcionalidad del trópico húmedo. **Objetivo.** Desarrollar y aplicar una ruta diagnóstica para diferenciar, caracterizar y jerarquizar factores limitantes y tensionantes antes de definir estrategias de restauración ecológica productiva, tomando como referencia suelos intervenidos de Lloró, Chocó. **Métodos.** Se realizó una investigación aplicada, descriptiva, comparativa y exploratoria. Se integraron datos físico-químicos de cinco muestras compuestas asociadas documentalmente a una unidad agrícola, un bosque intervenido, una unidad minera y dos referencias de bosque natural. Se analizaron textura, pH, materia y carbono orgánicos, aluminio intercambiable, capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), saturación de bases, fósforo, azufre y micronutrientes. Los factores se clasificaron como limitantes intrínsecos, tensionantes directos, factores mixtos e indicadores de respuesta. Su priorización consideró severidad, recurrencia, reversibilidad y riesgo ecosistémico; además, se construyó un índice compuesto de limitación edáfica y tensión por uso. **Resultados.** La unidad agrícola presentó la condición menos restrictiva: pH 5,4, saturación de bases de 87,4 %, saturación de aluminio de 12,6 % y criticidad baja (38,4), aunque mostró deficiencia de potasio, CICE limitada y riesgo de sellamiento por alto contenido de limo. El bosque intervenido alcanzó criticidad moderada (56,3), asociada con pH 4,8, saturación de aluminio de 71,1 % y baja reserva de bases. La unidad minera registró criticidad muy alta (83,9), con pH 4,6, saturación de aluminio de 94,8 %, saturación de bases de 5,2 % y deficiencias simultáneas de Ca, Mg, K, P, S, Zn y B. Las mayores prioridades fueron acidez y toxicidad por aluminio, baja saturación de bases, remoción y reorganización de horizontes por minería, deficiencia de potasio y baja CICE. Las referencias naturales evidenciaron que una baja fertilidad química puede coexistir con un bosque funcional cuando se mantienen cobertura, hojarasca, raíces, biota y reciclaje interno. **Conclusiones.** La restauración en el trópico húmedo no debe buscar homogeneizar los suelos según estándares agronómicos, sino recuperar procesos y compatibilizar funciones ecológicas y productivas. Se propone una secuencia de decisión: controlar primero los tensionantes activos; estabilizar el sustrato y la dinámica hídrica; corregir gradualmente los limitantes críticos; y posteriormente promover coberturas agroforestales o forestales. Esta

lectura permite diferenciar entre conservación productiva, regeneración natural asistida y rehabilitación intensiva, evitando aplicar una misma receta a grados de degradación distintos. Al vincular diagnóstico edáfico, manejo de presiones y selección de trayectoria, la propuesta contribuye a la reconversión sostenible de sistemas productivos y a la salud ambiental del territorio. El enfoque es transferible como estructura de diagnóstico, pero su escalamiento territorial requiere muestreo georreferenciado, replicación y monitoreo adaptativo.

**Palabras clave:** Agroforestería; degradación del suelo; minería aluvial.

**Keywords:** Agroforestry; soil degradation; alluvial mining.

# Agroforestería como estrategia de adaptación al cambio climático en el sector agropecuario del departamento de Casanare

# Agroforestry as a Climate Change Adaptation Strategy in the Agricultural Sector of the Department of Casanare

Sandra L, Barrera-Fuentes[1] ; Gloria E, Pastrana-Aguirre[1] y Ciro, Ortiz-Valdés[1]

[1]Profesor, Universidad Internacional del Trópico Americano, Unitrópico, Yopal

Sandrabarrera@unitrópico.edu.co

**Resumen**

El sector agropecuario de Casanare enfrenta alta vulnerabilidad por la variabilidad climática, reflejada en aumentos de temperatura, cambios en la precipitación y mayor frecuencia de eventos extremos, con efectos negativos en la productividad y los ecosistemas. La deforestación y la conversión de tierras agrícolas han intensificado emisiones y degradación de suelos, afectando el 19 % de los ecosistemas naturales. En este contexto, la agroforestería surge como alternativa que fortalece la resiliencia y promueve la regulación climática y la conservación de los ecosistemas. El objetivo de la investigación fue analizar la resiliencia socioecológica de modelos agroforestales y los factores que explican su sostenibilidad frente a la variabilidad climática, identificando experiencias con alto potencial demostrativo y replicable en el departamento, el estudio aplicó un diseño metodológico participativo en tres fases: (i) identificación de sistemas sobresalientes mediante taller con instituciones y productores, con criterios como trayectoria consolidada (≥8 años), diversidad funcional (≥3 especies arbóreas), integración productiva y aporte ambiental; (ii) selección de casos mediante muestreo intencional, priorizando predios con evidencia de funcionamiento ecológico y productivo, historial de exposición a perturbaciones y representatividad territorial; y (iii) entrevistas semiestructuradas a 14 productores de siete municipios, complementadas con observación, cartografía social y registro fotográfico, abordando seis dimensiones clave: trayectoria del productor, configuración estructural, historia del sistema, decisiones de manejo, factores de sostenibilidad y percepción frente a la variabilidad climática. Los resultados muestran predominancia de sistemas agroforestales basados en cacao (64,3 %), seguidos por sistemas silvopastoriles y agrosilvopastoriles con bovinos (28,6 %), agroforestales con café (14,3 %) y bosques comestibles (7,1 %). Estos modelos integran especies nativas como *Anadenanthera peregrina*, *Samanea saman*, *Inga edulis*, *Cariniana pyriformis*, *Cedrela odorata*, *Mauritia flexuosa* y *Attalea butyracea*, junto con introducidas como *Acacia mangium*, *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*. Se complementan con cultivos de plátano y frutas tropicales. La innovación campesina fue clave, se empleó bore como sombra inicial para cacao y alimento de especies menores, vetiver para control de erosión y conservación de árboles dispersos en potreros para bienestar animal y cultivos. Territorialmente, Yopal concentró el 35,7 % de los casos, Aguazul el 21,4 %, Monterrey el 14,3 %, y municipios como Pore, Támara, Paz de Ariporo y Tauramena el 7,1 % cada uno, abarcando piedemonte, sabana y montaña. En cuanto a las características sociodemográficas, el 71,4 % de los entrevistados fueron hombres y el 28,6 % mujeres, quienes desempeñan roles de liderazgo productivo. Los productores

reportaron mejoras sostenidas en el suelo, reducción del impacto de las sequías y mayor estabilidad económica derivada de la diversificación de ingresos, en la que los cultivos de pancoger fortalecen la seguridad alimentaria. Estas trayectorias reflejan la transición gradual desde la ganadería extensiva y los monocultivos hacia sistemas multiestratos más complejos, confirmando la existencia de modelos diversificados adaptados al territorio y la cultura local, con alto potencial para enfrentar períodos de sequías, épocas de transición y lluvias. La estructuración de estos modelos resilientes evidencia una amplia articulación institucional. Los actores con mayor participación son la Gobernación de Casanare (14,6 %), FEDECACAO (12,0 %), Alcaldías Municipales (9,5 %) y el SENA (8,6 %), quienes lideran asistencia técnica, capacitación y proyectos productivos.

**Palabras Clave:** Sistemas agroforestales, silvopastoril, resiliencia productiva, variabilidad climática, diversificación productiva.

**Keywords:** Agroforestry systems, silvopastoral, productive resilience, climate variability, productive diversification.

# Conocimiento local y dinámicas del uso del fuego en sistemas productivos de Yopal, Casanare: avances de investigación

# Local knowledge and fire-use dynamics in production systems in Yopal, Casanare: research findings

Karen Alfonso Rodriguez[1]

[1] Estudiante de Ingeniería Agroforestal, Casanare, Universidad Internacional del Trópico Americano UNITRÓPICO, Yopal

karenalfonso.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

En la Orinoquia colombiana, el fuego forma parte de prácticas tradicionales vinculadas al manejo de los sistemas productivos, particularmente para la preparación de áreas de cultivo y el manejo de la vegetación. Sin embargo, durante la época seca, su uso puede derivar en pérdidas de control que afectan los sistemas productivos y los ecosistemas, por eso, se debe comprender cómo las comunidades utilizan, manejan y responden al fuego permite reconocer conocimientos y prácticas locales relevantes para su gestión integral. Esta investigación busca caracterizar las dinámicas del fuego en sistemas productivos y las respuestas comunitarias frente a sus efectos en tres veredas del municipio de Yopal, seleccionadas por presentar antecedentes de afectaciones asociadas a incendios de cobertura vegetal. Se busca identificar prácticas productivas vinculadas al uso del fuego, describir las dinámicas de quema y analizar los conocimientos, percepciones y prácticas locales relacionadas con la prevención, el control y la recuperación de áreas afectadas. El estudio se desarrolla bajo un enfoque cualitativo, descriptivo y participativo, mediante trabajo de campo, diálogo de saberes y un método Campesino a Campesino, complementados con entrevistas, mapas parlantes y croquis participativos. Los primeros hallazgos, obtenidos en la vereda La Calceta evidencian una relación estrecha entre el fuego, las prácticas productivas y las formas locales de manejo del territorio. Su utilización se vincula principalmente con el despeje de bejucos y malezas y la preparación de áreas para el establecimiento de cultivos. Se identifican conocimientos relacionados con la selección del momento de la quema, considerando la época seca, la dirección e intensidad del viento, las características de la vegetación y las condiciones del terreno. Asimismo, se reconocen prácticas de planificación y prevención que incluyen el aviso previo a los vecinos, la organización comunitaria, la apertura de guardarrayas, la disponibilidad de agua y herramientas para el control y la vigilancia durante la quema, así como acciones posteriores para identificar posibles puntos de reactivación. De manera complementaria, el estudio incorpora el conocimiento local sobre la respuesta de la vegetación después del fuego y los criterios utilizados para favorecer o establecer especies durante procesos de recuperación, reconociendo atributos como el rebrote, la adaptación a las condiciones ambientales y su contribución a la recuperación del ecosistema. En conjunto, estos primeros hallazgos sugieren que la relación de las comunidades con el fuego trasciende su función como herramienta productiva y comprende saberes ambientales, decisiones productivas, mecanismos comunitarios de regulación y conocimientos sobre la respuesta del territorio frente a la perturbación. Así, el fuego puede comprenderse como un elemento que articula prácticas productivas, dinámicas

ambientales y procesos de recuperación, cuya interpretación requiere integrar tanto las condiciones ecológicas como las experiencias y conocimientos locales. La investigación buscó aportar a la comprensión de las dinámicas socio productivas del fuego en Casanare y a la construcción de una línea base inicial del municipio, que contribuya al desarrollo de estrategias de Manejo Integral del Fuego y recuperación ecológica contextualizadas y participativas.

**Palabras Clave:** Manejo Integral del Fuego; conocimiento local; dinámica territorial.

**Keywords:** Integrated Fire Management; local knowledge; territorial dynamics.

# Conocimiento local y estrategias de recuperación ecológica postincendio en comunidades rurales de Yopal, Casanare: avances de investigación

# Local knowledge and post-fire ecological recovery strategies in rural communities of Yopal, Casanare: research advances

Karen Mojica[1]

[1] Estudiante de Ingeniería Agroforestal, Casanare, Universidad Internacional del Trópico Americano UNITRÓPICO, Yopal

karenmolina.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

En la Orinoquia colombiana, los incendios de cobertura vegetal constituyen una perturbación que puede modificar la composición, estructura y dinámica de los ecosistemas, afectando procesos ecológicos y sistemas productivos. En este contexto, comprender cómo las comunidades rurales reconocen, manejan y favorecen la recuperación de áreas afectadas por el fuego resulta relevante para fortalecer procesos de restauración ecológica y Manejo Integral del Fuego desde las particularidades del territorio. La investigación tiene como objetivo describir, desde la perspectiva comunitaria, las estrategias locales de recuperación ecológica implementadas después de incendios asociados a quemas de conucos fuera de control, identificando prácticas de restauración, especies utilizadas, formas de manejo y criterios locales para favorecer la recuperación de áreas afectadas. El estudio contempla tres veredas del municipio de Yopal seleccionadas por presentar antecedentes de afectaciones asociadas a incendios de cobertura vegetal y se desarrolla bajo un enfoque cualitativo y descriptivo, mediante encuestas semiestructuradas, diálogo de saberes y herramientas participativas orientadas a reconocer conocimientos y prácticas locales. Como avance de la investigación, la revisión de literatura científica y técnica permitió identificar que la respuesta de la vegetación frente al fuego está condicionada por factores como la intensidad y la frecuencia de la perturbación, la duración, así como por las características de las especies y del ecosistema. Se reconocieron diferentes mecanismos de respuesta, entre ellos el rebrote, la resistencia, la evitación y la regeneración mediante semillas. Estos elementos permitieron estructurar categorías orientadoras para el trabajo de campo y definir criterios para analizar el conocimiento local sobre las especies y prácticas asociadas a la recuperación, considerando aspectos como capacidad de rebrote, adaptación a las condiciones ambientales, protección del suelo y el agua, disponibilidad local, utilidad para la fauna y contribución a la recuperación del ecosistema. De manera preliminar, este avance permite plantear que la recuperación posterior al fuego no constituye un proceso homogéneo, sino que depende de la interacción entre las características de la perturbación, la capacidad de respuesta de la vegetación y las decisiones de manejo desarrolladas por las comunidades. En este sentido, el conocimiento local puede constituir un componente relevante para identificar estrategias de recuperación ajustadas a las condiciones ecológicas y productivas del territorio, siempre que sea analizado en diálogo con la evidencia científica. La consolidación de esta metodología y su posterior aplicación en las tres veredas permitirá construir una línea base inicial sobre conocimiento comunitario y recuperación ecológica postincendio en Yopal, aportando elementos para orientar procesos de restauración ecológica y

estrategias de Manejo Integral del Fuego en el contexto de Casanare.

**Palabras Clave:** Restauración ecológica; Manejo Integral del Fuego; quemas de conucos.
**Keywords:** ecological restoration; Integrated Fire Management; Conuco burning.

# Consolidación y resiliencia socioecológica de sistemas agroforestales de referencia frente a la variabilidad climática en Casanare, Colombia

# Consolidation and Socio-Ecological Resilience of Reference Agroforestry Systems in the Face of Climate Variability in Casanare, Colombia

Sandra L. Barrera Fuentes[1], Gloria E. Pastrana Aguirre[2], Ciro Ortiz Valdés[3], Victor H. Lorenzo Xajpot[4], Merly Y. Rojas Rincón[5]

[1] *Grupo de Investigación en Ingeniería Aplicada y Sostenibilidad – GIIAS, Universidad del Trópico Americano (UNITROPICO), Yopal, Colombia. Orcid https://orcid.org/0009-0004-4202-9415 sandrabarrera@unitropico.edu.co;* [2] *Grupo de Investigación Biodiversidad y Dinámica de Ecosistemas Tropicales, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia. Orcid http://orcid.org/0000-0003-4538-9083 Gloria.pastrana@unillanos.edu.co*; [3] *Grupo de investigación en Ciencias Veterinarias - GINCIVET, Universidad Internacional del Trópico Americano-UNITRÓPICO, Yopal, Colombia. Orcid https://orcid.org/0000-0002-4586-377X Ciro.ortiz@unillanos.edu.co*; [4] Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología-IARNA, Universidad Rafael Landivar Guatemala, Guatemala. Orcid https://orcid.org/0009-0002-5519-8213 vhlorenzo@correo.url.edu.gt; [5] *Grupo de Investigación en Ingeniería Aplicada y Sostenibilidad – GIIAS, Universidad del Trópico Americano (UNITROPICO), Yopal, Colombia. Orcid https://orcid.org/0009-0009-1543-8586 merlyrojas.es@unitropico.edu.co*

merlyrojas.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

La variabilidad climática representa uno de los principales desafíos para la sostenibilidad de los sistemas productivos rurales, al afectar la disponibilidad de recursos hídricos, la productividad agropecuaria y la estabilidad económica de los productores. Frente a este panorama, los sistemas agroforestales se configuran como una estrategia potencial para fortalecer la resiliencia socioecológica; sin embargo, persiste un vacío de conocimiento sobre los factores específicos que explican su sostenibilidad y permanencia en los llanos orientales. El presente estudio tuvo como objetivo analizar los procesos asociados a la consolidación, la expresión de la multifuncionalidad y el potencial de los sistemas agroforestales de referencia como modelos para el desarrollo territorial en el departamento de Casanare, Colombia. Se desarrolló un estudio cualitativo de casos múltiples con enfoque interpretativo. A partir de un mapeo participativo con actores territoriales y un muestreo intencional de tipo teórico, se seleccionaron 14 casos referenciales distribuidos en las ecorregiones de montaña, piedemonte y sabana. La información se recolectó mediante entrevistas semiestructuradas, cartografía social y observación directa, y fue analizada a través de codificación, comparación de casos y modelado conceptual mediante redes jerárquicas y relacionales (Network Views). Los resultados muestran que la consolidación de estos sistemas responde a procesos graduales de diversificación, incorporación progresiva de especies y experimentación local, ajustados a las condiciones particulares de cada predio y a la experiencia acumulada por los productores. La variabilidad climática, expresada principalmente en el aumento de la temperatura, la prolongación de las sequías y la irregularidad de las precipitaciones afecta la disponibilidad de agua, la productividad y la planificación de las actividades productivas. Frente a ello, los productores identifican el componente arbóreo como un elemento

central de adaptación, al contribuir a la regulación climática, la protección del suelo y del recurso hídrico, la disponibilidad de sombra y forraje, y la diversificación de productos e ingresos. Asimismo, la experiencia, la experimentación, el intercambio de conocimientos, el trabajo familiar y el acompañamiento institucional se identificaron como factores determinantes para el establecimiento, mantenimiento y adaptación de los sistemas en el tiempo. En conjunto, los hallazgos evidencian que la resiliencia socioecológica de los sistemas agroforestales surge de la interacción entre el conocimiento local, la diversificación productiva y el apoyo institucional, así como de la capacidad de los productores para aprender y ajustar sus prácticas frente a condiciones cambiantes. Estos resultados aportan elementos clave para orientar estrategias de adaptación y procesos de desarrollo rural sostenible en la Orinoquía colombiana.

**Palabras clave:** sistemas agroforestales, capacidad adaptativa, diversificación productiva, resiliencia socioecológica, Casanare.

**Keywords:** Agroforestry systems, adaptive capacity, productive diversification, socio-ecological resilience, Casanare.

# Sistemas Agroforestales como estrategia frente al daño ambiental: aportes desde la Criminología Verde

# Agroforestry systems as a strategy against environmental damage: contributions of green criminology.

Mileth Dahiana Montenegro Cubides[1]

[1]*Programa de Ingeniería Agroforestal, Universidad Internacional del Trópico Americano (Unitrópico), Yopal*

*milethmontenegro.es@unitropico.edu.co*

**Resumen**

La crisis ambiental actual evidencia que la degradación de los ecosistemas trasciende la dimensión ecológica y se relaciona con factores sociales, económicos y de gobernanza que condicionan la generación y distribución de los daños ambientales. En este contexto, la Criminología Verde permite analizar las afectaciones que recaen sobre los ecosistemas y las poblaciones, sus causas, los actores involucrados, las relaciones de poder y sus consecuencias, incluyendo aquellos daños que no necesariamente son reconocidos como delitos. A su vez, los Sistemas Agroforestales (SAF) constituyen alternativas de manejo territorial que integran componentes arbóreos, agrícolas y otros elementos productivos y ecológicos, favoreciendo la conservación de la biodiversidad, la recuperación del suelo, la regulación hídrica y la provisión de servicios ecosistémicos. El presente trabajo tiene como objetivo analizar conceptualmente la complementariedad entre la Criminología Verde y los SAF como fundamento para un enfoque de prevención y restauración orientado a la gestión sostenible del territorio. Se realizó una revisión narrativa de carácter conceptual mediante la consulta de literatura científica y académica especializada en bases y plataformas como SciELO, Google Scholar, ScienceDirect y fuentes institucionales de FAO y CIFOR-ICRAF, priorizando publicaciones relacionadas con Criminología Verde, daño ambiental, agroforestería, servicios ecosistémicos, restauración y manejo sostenible del territorio; adicionalmente, se consideraron estudios con evidencia aplicada en contextos latinoamericanos y colombianos. La revisión permitió identificar una complementariedad entre ambos enfoques: mientras la Criminología Verde aporta herramientas para comprender dónde, cómo y por qué se producen los daños, quiénes participan en su generación y quiénes soportan sus consecuencias, los SAF ofrecen alternativas de manejo capaces de contribuir a la prevención, mitigación y restauración de determinadas afectaciones ambientales. Los estudios analizados evidencian aportes de los sistemas agroforestales en la conservación de la biodiversidad, protección y recuperación de los suelos, regulación del agua y mantenimiento de servicios ecosistémicos, así como su potencial para contribuir al manejo de territorios afectados por procesos de degradación. Desde esta articulación, se plantea la integración de los sistemas agroforestales como una estrategia preventiva frente a las afectaciones ambientales, que trasciende una respuesta centrada exclusivamente en el control y la sanción y considera también la transformación de las condiciones territoriales, productivas y sociales que favorecen su permanencia. Así, la relación entre Criminología Verde y SAF permite vincular el análisis de las problemáticas ecológicas y sus impactos sociales con alternativas concretas de prevención, conservación, restauración y producción sostenible, aportando una perspectiva interdisciplinaria para abordar procesos como la deforestación, la pérdida de biodiversidad,

la degradación del suelo y la afectación del recurso hídrico. Esta relación contribuye a fortalecer una gestión territorial sostenible y resiliente, en la que producción, conservación y restauración se conciben de manera integrada y orientadas a reducir las presiones sobre los ecosistemas y favorecer su recuperación.

**Palabras clave:** Degradación ambiental; servicios ecosistémicos; restauración ecológica.

**Keywords:** Environmental degradation; ecosystem services; ecological restauration

# Extensión rural participativa para la adopción de tecnologías de adaptación climática en fincas cafeteras de Buesaco

# Participatory rural outreach for the adoption of climate adaptation technologies on coffee farms in Buesaco

Hugo Ferney Leonel[1] y Ángela A. Molina Moreno[2]

[1]Docente, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto; [2]Docente, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto

angela.molina@udenar.edu.co

**Resumen**

La variabilidad climática ha vuelto menos predecible el calendario de la caficultura andina: cambian los regímenes de lluvia, se prolongan los periodos secos y aumenta la presión de plagas, con efectos directos sobre la producción y sobre el ingreso de las familias. Sin embargo, una alternativa de adaptación no permanece en la finca solo porque sea técnicamente adecuada. Para sostenerse, el productor necesita entenderla, realizar ensayos y ajustarla a lo que sabe y a los recursos que dispone. Por eso la formación, el acompañamiento y el intercambio de saberes no son un complemento de la tecnología: forman parte de ella. Este trabajo evaluó los factores de adopción y los impactos de las alternativas de adaptación priorizadas con familias cafeteras de las veredas Hatillo Medina, Medina Espejo, Veracruz y Juanambú, en el municipio de Buesaco, Nariño (Colombia), con atención particular al papel que cumplieron la participación comunitaria y la extensión rural en ese proceso. El estudio fue descriptivo, de enfoque mixto, y se enmarcó en la Investigación Acción Participativa con 43 familias vinculadas al proyecto. La información se construyó en talleres, entrevistas semiestructuradas, visitas a finca, observación participante, foros y mesas de discusión. Se trabajaron nueve alternativas: manejo integrado de plagas y enfermedades, biopreparados, lombricompost, huertos caseros, captación de aguas lluvias, secador solar, terrazas agrícolas, vivero agroforestal y banco de semillas. La adopción se analizó desde factores tecnológicos, económicos, sociales e institucionales, y los impactos se valoraron mediante una adaptación de la metodología Ambitec-Agro, con 20 criterios y 47 indicadores, complementada con una escala tipo Likert que recogió la percepción de los propios productores. Lo que más pesó en la decisión de adoptar no fue la sofisticación de la alternativa, sino su facilidad de manejo, su compatibilidad con el conocimiento local, el costo que implicaba, el acceso a información y el respaldo familiar e institucional. El lombricompost fue adoptado por la totalidad de los participantes; el manejo integrado de plagas y enfermedades alcanzó el 70 % y los biopreparados, el 60 %. Poder ensayar la práctica, equivocarse y corregir sobre la marcha resultó decisivo. Los talleres y las entrevistas también dejaron ver las limitaciones: falta de recursos para ciertas inversiones, capacitaciones que resultaron cortas frente a la complejidad de algunas prácticas y dificultades para conseguir insumos o asistencia técnica oportuna. Las observaciones alimentaron directamente las recomendaciones de manejo formuladas para cada alternativa. La adopción de tecnologías de adaptación en sistemas cafeteros no se define únicamente en el terreno técnico, sino en el cruce de lo tecnológico, lo económico, lo social y lo institucional. Se fortalece cuando existen procesos sostenidos de extensión rural, acompañamiento y aprendizaje práctico que amplían el conocimiento y la

capacidad de decisión de las familias. En consecuencia, una estrategia de adaptación que aspire a permanecer debe ofrecer, junto con la tecnología, capacitación continua, espacios de experimentación, participación comunitaria y asistencia técnica ajustada a las condiciones económicas, culturales y productivas del territorio.

**Palabras clave:** resiliencia; agricultura familiar; capacitación campesina.

**Keywords:** resilience; family farming; farmer capacity building.

# Una revisión sobre el potencial de la transición silvopastoril en los servicios ecosistémicos

# A review on the potential of the silvopastoral transition in ecosystem services

Niria Pastora Bonza Pérez [1]

[1] Profesora, Programa de Ingeniería Forestal, Semillero de investigación en especies forestales promisorias SIEFP, Grupo de Investigación PROPROBOS, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá

npbonzap@udistrital.edu.co.

**Resumen**

Los Sistemas Silvopastoriles (SSP), emergen como una alternativa de mayor eficiencia en el uso de recursos (luz, agua y nutrientes) gracias a la incorporación del componente arbóreo (Somarriba, 2004). En este modelo productivo, la diversidad estructural reduce la varianza inter estacional de la oferta forrajera en rangos óptimos de sombra entre el 30% y el 50%, atenuando la evapotranspiración del suelo y el estrés hídrico de la pastura, lo cual es crítico en épocas de sequía prolongada (Diaz-Chaux et al., 2025). A su vez, el dosel regula el Índice de temperatura y humedad (ITH) y mitiga el estrés calórico en el ganado bovino, optimizando sus parámetros fisiológicos, el comportamiento de pastoreo y la eficiencia metabólica animal (Lammoglia et al., 2022; Sollenberger et al., 2020). Estudios de caso en sistemas silvopastoriles intensivos demuestran que la integración de estratos vegetales diversos y fijadores de nitrógeno, sumada a la eliminación de fertilizantes sintéticos (Chará et al., 2019; Murgueitio et al., 2024), optimizan la salud del suelo (Dollinger et al., 2018) y el bienestar animal (Lammoglia et al., 2022; Solorio et al., 2021), multiplicando la producción de carne y leche con menores emisiones de metano. Estas interacciones son fundamentales para que la intensificación productiva alcance la sostenibilidad ambiental en la medida en que los SSP contribuyen a servicios ecosistémicos clave, minimizando las externalidades ambientales, diversificando hábitats y mejorando la conectividad del paisaje. Se desarrollo un análisis bibliométrico en el período comprendido entre 2009 y 2025, para evaluar y mapear la información científica de forma cuantitativa, para encontrar patrones, tendencias temáticas, crecimiento científico y polos geográficos de producción académica sobre el potencial de los SSP en los servicios ecosistémicos. Fueron realizadas búsquedas en bases de datos Scopus, Springer Nature y Science Direct y empleadas las herramientas Bibliometrix/Biblioshiny y un paquete open-source en R, para un análisis bibliométrico completo. Algunos resultados relevantes señalan un nicho de investigación en temas asociados a manejo y productividad de la tierra desde el enfoque de resiliencia y vulnerabilidad climática. El panorama señala una tendencia importante de contribución académica en Asia, Norteamérica y en Latinoamérica Brasil como el país con mayor impacto local. Este análisis permite reconocer temas emergentes especialmente en indicadores que pueden ser un elemento esencial para la productividad y adaptación.

**Palabras claves**: Sistemas silvopastoriles, Servicios ecosistémicos, Pastizales convencionales, Transición silvopastoril, Revisión bibliográfica

**Keywords**: Silvopastoral systems, Ecosystem services, Conventional pastures, Silvopastoral transition, Literature review.

# MESA 3
# Economía circular y biotecnología
# Coordinador: Dr. Mauricio García Arboleda

## Modelo de acompañamiento territorial rural: indicadores de transición digital y adopción de inteligencia artificial para la sostenibilidad

## Intelligent agroecological rural support model: from transition indicators to artificial intelligence platforms for territorial sustainability

Carlos Alberto Gaitán [1], Germán Rivera Fernández [2], Alexander Ramírez [3]

Profesor Investigador, Escuela de Ingeniería, Universidad Uniminuto, Bogotá; [1]Profesor Investigador, Escuela de Ingeniería, Universidad Uniminuto;[2] Profesor Investigador, Escuela de Ingeniería, Universidad Uniminuto [3]

carlos.gaitan@uniminuto.edu

**Resumen**

La transición hacia sistemas agroecológicos sostenibles exige comprender los agroecosistemas desde una perspectiva multidimensional que integre los componentes ecológicos, productivos, económicos, culturales y sociopolíticos. Esta investigación surge de un proceso de sistematización del conocimiento campesino desarrollado en tres estudios de caso, dos en Colombia y uno en África, orientado a identificar indicadores de transición agroecológica que permitan avanzar desde esquemas convencionales hacia modelos productivos sostenibles construidos desde las realidades territoriales y el conocimiento local. El estudio se fundamenta en la premisa de que los procesos de cambio no dependen exclusivamente de variables técnico-productivas, sino de la interacción entre dimensiones ecológicas-productivas, socioeconómicas, sociopolíticas y socioculturales, las cuales actúan de manera articulada en los procesos de transformación rural. La investigación adoptó un enfoque mixto, descriptivo y exploratorio, integrando entrevistas en profundidad, observación participativa, análisis territorial, metodologías de investigación acción participativa y herramientas de evaluación de sostenibilidad. Posteriormente, el modelo fue enriquecido mediante la comparación de experiencias agroecológicas en San Eduardo (Boyacá), Subachoque (Cundinamarca) y Amalika (Malawi), incorporando el análisis de actores mediante el enfoque CLIP, observación de campo, encuestas estructuradas y la aplicación de la herramienta de inteligencia artificial *AI for Agroecology* para la estimación de indicadores de sostenibilidad en fincas agroecológicas y agroforestales. Los resultados evidencian que la agroecología constituye un proceso de transformación integral donde factores como la asociatividad, el conocimiento local, la seguridad

alimentaria, la gobernanza territorial, la conservación de los recursos naturales y el intercambio de saberes resultan tan determinantes como los indicadores productivos convencionales. Asimismo, se identificó que las principales barreras para la transición corresponden al acceso al conocimiento, las limitaciones económicas, la insuficiente asistencia técnica y las restricciones institucionales presentes en diversos territorios rurales. Por otra parte, los procesos asociativos demostraron una capacidad significativa para mejorar ingresos, fortalecer la resiliencia comunitaria y facilitar la adopción de prácticas sostenibles. Como evolución de este proceso investigativo se propone fortalecer el acompañamiento rural con el aplicativo *AI for Agroecology* en una **plataforma inteligente de gestión agroecológica**, concebida como un ecosistema digital de acompañamiento permanente para productores, técnicos, organizaciones e instituciones. La plataforma integraría información histórica de las fincas, indicadores multidimensionales de transición, variables ambientales, productivas y socioterritoriales, complementadas con herramientas de aprendizaje automático, inteligencia artificial generativa, analítica geoespacial y monitoreo continuo. Estas capacidades permitirían evaluar dinámicamente la sostenibilidad de los agroecosistemas, identificar patrones ocultos, anticipar riesgos, construir escenarios prospectivos y generar recomendaciones personalizadas, transparentes y explicables para cada contexto territorial. Se concluye que la convergencia entre agroecología, conocimiento campesino, las metodologías participativas y la inteligencia artificial, representa una oportunidad para democratizar el acceso a servicios de extensión rural, fortalecer la toma de decisiones y acelerar los procesos de transición agroecológica y agroforestal. Paralelamente integrando aspectos como la salud humana y ecosistémica, la seguridad alimentaria y el desarrollo territorial sostenible, lo cual permita evolucionar desde el diseño de diagnósticos hacia sistemas inteligentes de aprendizaje, monitoreo y mejora continua de los agroecosistemas.

***Palabras clave*:** Agroecología; Transición agroecológica; Inteligencia artificial; Conocimiento campesino; Extensión rural; Sistemas agroforestales; Sostenibilidad territorial; Salud.

**Keywords**: Agroecology; Agroecological transition; Artificial Intelligence; Peasant knowledge; Rural extension; Agroforestry systems; Territorial sustainability; One Health.

# BIOGASFY: valorización de residuos orgánicos de legumbrerías mediante producción de biogás y compost en Quibdó

# BIOGASFY: valorization of organic waste from produce shops through biogas and compost production in Quibdó

Yaison Mosquera Quinto[1]; David F Delgado Liloy[1]; Rosember Ramírez Garrido[1]

[1]Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba, Programa de Ingeniería Agroforestal, Quibdó, Colombia.

yaisonmosquera27@gmail.com

**Resumen**

Introducción: La gestión de residuos orgánicos constituye una problemática ambiental relevante en Quibdó. El Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos municipal estimó para el área urbana una generación cercana a 77.354 kg/día, con predominio de residuos orgánicos y ordinarios, equivalentes aproximadamente al 64,7 % del total. En establecimientos dedicados a la comercialización y preparación de alimentos, incluidas las legumbrerías, esta fracción puede representar hasta el 90 % de los residuos generados. Aunque existen experiencias locales de recolección y biotransformación, una parte considerable de estos materiales continúa mezclándose con residuos no aprovechables y trasladándose a disposición final. Esta situación favorece la generación de olores, lixiviados y gases de efecto invernadero, además de desaprovechar materia orgánica con potencial energético y agronómico. Objetivo: Diseñar y evaluar experimentalmente una alternativa para la recolección diferenciada y valorización de residuos orgánicos provenientes de legumbrerías de Quibdó mediante digestión anaerobia y estabilización del digestato. Métodos: Se propone un estudio aplicado con componentes descriptivo y experimental. Inicialmente se seleccionarán legumbrerías mediante muestreo intencional y se realizará durante siete días consecutivos el pesaje de los residuos generados. Las muestras serán separadas y caracterizadas según tipo de material, contenido de humedad, sólidos totales, sólidos volátiles, pH y relación carbono-nitrógeno. Posteriormente se instalarán biodigestores experimentales de operación discontinua con tratamientos conformados por diferentes proporciones de residuos vegetales e inóculo, además de un control. Cada tratamiento se desarrollará por triplicado durante un periodo aproximado de 30 días, manteniendo condiciones mesofílicas entre 30 y 37 °C. Se registrarán diariamente temperatura, pH, volumen de biogás y estabilidad del proceso. La concentración de metano se determinará mediante un método instrumental disponible o un analizador portátil. El digestato será estabilizado y evaluado mediante humedad, pH, materia orgánica, conductividad eléctrica y ausencia de olores ofensivos. Los datos serán analizados mediante estadística descriptiva y comparación de medias entre tratamientos. Resultados: El diseño metodológico permitió establecer una ruta experimental que integra separación en la fuente, caracterización del

sustrato, digestión anaerobia, cuantificación de biogás y evaluación del digestato. Se espera identificar el tratamiento con mayor rendimiento de biogás por kilogramo de sólidos volátiles y determinar la proporción de residuos que puede desviarse de la disposición final. La información obtenida permitirá dimensionar un biodigestor piloto, estimar su capacidad de tratamiento y actualizar los supuestos técnicos y económicos de Biogasfy con datos locales. Conclusiones: Biogasfy presenta potencial para articular la gestión de residuos de legumbrerías con la producción descentralizada de energía y la recuperación de nutrientes. La incorporación de una fase experimental fortalece la validez científica de la propuesta y permitirá establecer su viabilidad técnica, ambiental y económica antes de una implementación a mayor escala.

**Palabras clave**: economía circular; digestión anaerobia; recuperación de nutrientes.

**Keywords**: circular economy; anaerobic digestion; nutrient recovery

# Efecto de la sustitución del salvado de trigo por residuos sólidos orgánicos en la alimentación de *Tenebrio molitor*

# Effect of replacing wheat bran with solid organic waste in the diet of *Tenebrio molitor*

Brainer Fernando Puga Montoya[1]

[1]Estudiante, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales – UDCA, Bogotá, D. C

bpugam.jau@udca.edu.co

**Resumen**

**Introducción:** La reconversión de los sistemas productivos hacia modelos más sostenibles requiere estrategias que permitan el aprovechamiento eficiente de residuos orgánicos y la reducción de la dependencia de insumos convencionales. El insecto *Tenebrio molitor* representa una alternativa biotecnológica con potencial para transformar subproductos agroindustriales en biomasa de valor nutricional, con aplicación en esquemas de economía circular vinculados a sistemas agropecuarios y agroforestales. **Objetivo:** Evaluar el efecto de diferentes residuos sólidos orgánicos en el crecimiento, desarrollo y composición nutricional de *T. molitor*, con el fin de identificar alternativas alimenticias de bajo costo y pertinencia para sistemas productivos sostenibles. **Métodos:** Se utilizará un diseño completamente al azar con siete tratamientos, un control con salvado de trigo y seis sustratos orgánicos: cáscara de yuca, cáscara de papa, plátano verde, arroz partido y cáscara de huevo con tres repeticiones por tratamiento. Se evalúa variables biológicas y productivas como supervivencia, crecimiento, tiempo de desarrollo, consumo de sustrato, composición bromatológica y costos de producción. **Resultados:** Se espera identificar residuos con capacidad de sustituir total o parcialmente el salvado de trigo sin afectar negativamente el desempeño biológico de las larvas, así como reconocer alimentos que son los subproductos con mejor relación costo-beneficio. Asimismo, se prevé generar información sobre el valor nutricional de la biomasa obtenida y sobre el potencial de estos residuos para integrarse a procesos de aprovechamiento más sostenibles. **Conclusiones:** El uso de residuos sólidos orgánicos en la alimentación de *T. molitor* puede constituir una estrategia de valorización de biomasa con la reconversión de sistemas productivos, la reducción de desperdicios y la diversificación de fuentes de proteína. Este enfoque fortalece la articulación entre entomología aplicada, agroecología, economía circular y agroforestería, al proponer alternativas técnicamente viables para el manejo de subproductos orgánicos en sistemas territoriales más resilientes.

**Palabras Clave:** biomasa proteica, subproductos agroindustriales, reconversión productiva

**Keywords:** protein biomass; agro-industrial byproducts; productive reconversion

# Evaluación de la encapsulación de plántulas in vitro de *Epidendrum secundum* con recubrimiento tipo semilla sintética para establecimiento en vivero

# Evaluation of the encapsulation of in vitro seedlings of *Epidendrum secundum* with synthetic seed-type coating for establishment in nursery

Angie K. Navarrete Rodríguez[1]; Luz A. Sánchez Rodríguez[2]

[1]Estudiante del Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA, Bogotá; [2]Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA, Bogotá

luz.sanchez@udca.edu.co

**Resumen**

**Introducción:** La propagación *in vitro* de orquídeas nativas favorece su conservación y multiplicación, pero exige condiciones estrictas de asepsia, insumos especializados y altos costos de mantenimiento. Además, la adaptación de las plántulas a condiciones *ex vitro* presenta dificultades. La encapsulación tipo semilla sintética puede proteger el material vegetal, facilitar su manejo y reducir el mantenimiento prolongado en laboratorio mediante el traslado temprano a vivero. *Epidendrum secundum*, por su relevancia ecológica y ornamental, es una especie adecuada para evaluar esta tecnología. **Objetivo:** Determinar el efecto de la encapsulación tipo semilla sintética sobre el establecimiento inicial *ex vitro* de plántulas de *Epidendrum secundum* bajo condiciones de vivero. **Métodos:** Se emplearon plántulas *in vitro* con 1 cm de longitud foliar y radical. La encapsulación se realizó sobre el sistema radical con una matriz de alginato de sodio gelificada con cloruro de calcio. El estudio tuvo dos fases: en la primera se compararon concentraciones de alginato de 2 % y 4 % con concentraciones de medio MS de 75 % y 100 %; en la segunda, con el alginato seleccionado, se compararon los sustratos turba y turba más perlita, combinados con MS al 75 % y 100 %. La integridad de la cápsula se registró en una escala ordinal de 0-5, de menor a mayor conservación. Durante 163 días se cuantificaron número de hojas y raíces, longitud foliar y radical y peso seco. Las diferencias entre tratamientos se determinaron mediante ANOVA y prueba de Tukey, con $p < 0,05$. **Resultados:** En la primera fase, el alginato al 2 % combinado con MS al 100 % presentó el mayor número de hojas, 6,25, y fue seleccionado para la segunda fase. En esta fase, el número de raíces fue mayor en turba más perlita con MS al 75 %, 4,33, y en turba con MS al 75 %, 4,27. La longitud foliar fue similar entre tratamientos, excepto en turba con MS al 100 %, que registró el menor valor, 2,64 cm; la turba con MS al 75 % presentó el mayor, 4,14 cm. El número de hojas no presentó diferencias significativas y el peso seco no difirió entre tratamientos. La integridad de la cápsula disminuyó progresivamente, con valores intermedios a los 42 días y degradación completa a los 163 días. **Conclusiones:** Los tratamientos con turba, sola o combinada con perlita, y MS al 75 % mostraron las respuestas más equilibradas entre crecimiento aéreo y radical. La encapsulación tipo semilla sintética con alginato de sodio constituye una alternativa viable para el manejo inicial de plántulas *in vitro* de *Epidendrum secundum* y su traslado temprano a vivero, y aporta información para optimizar el establecimiento *ex vitro* y reducir la dependencia del mantenimiento prolongado en laboratorio.

**Palabras clave:** aclimatación, alginato, orquídeas.

**Keywords:** acclimatization, alginate, orchids.

# Efecto del magnetopriming (50 Hz) sobre la germinación y el vigor inicial de semillas de yopo *(Anadenanthera peregrina)*

# Effect of magnetopriming (50 Hz) on germination and early vigour of yopo seeds *(Anadenanthera peregrina).*

Anderson A. Rodríguez Carranza[1]; Edwin Leonardo Ramos Guarnizo[2]

[1]Programa de Ingeniería Agroforestal, Universidad Internacional del Trópico Americano (Unitrópico), Yopal; [2]Profesor Investigador, Grupo de Investigación en Agroforestería y Sostenibilidad (GIAF), Universidad Internacional del Trópico Americano (Unitrópico), Yopal

andersonarodriguez.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

**Introducción:** La restauración ecológica de la Orinoquía colombiana requiere material vegetal nativo de alta calidad. El yopo (*Anadenanthera peregrina (L.) Speg*.) posee importancia ecológica por su potencial para recuperar coberturas y rehabilitar áreas degradadas; sin embargo, la variabilidad en la velocidad y sincronía de su germinación puede limitar la propagación en vivero. El magnetopriming es una alternativa biofísica de presiembra, no invasiva y de bajo impacto ambiental, basada en exponer las semillas a campos magnéticos que pueden modificar la imbibición, la activación metabólica y el vigor temprano. **Objetivo:** El objetivo es evaluar el efecto de campos electromagnéticos de 50 Hz, generados mediante bobinas de Helmholtz, sobre la cinética de imbibición, la germinación y el vigor inicial de plántulas de yopo. **Métodos:** Se aplicará un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 × 3: tres intensidades (4, 8 y 12 mT) y tres tiempos de exposición (10, 20 y 40 min), además de un control absoluto y un control sham o ciego. Cada tratamiento tendrá cuatro repeticiones de 25 semillas, para un total de 44 unidades experimentales y 1.100 semillas. El sistema se calibró con teslámetro y se controló la temperatura para distinguir el efecto magnético de posibles variaciones térmicas. Se caracterizará la calidad física y la viabilidad inicial del lote. Se evaluarán la absorción de agua, la conductividad eléctrica como indicador de integridad de membranas, el porcentaje y la velocidad de germinación, la longitud de raíz y la biomasa seca total. Tras comprobar la normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizará un análisis de varianza de dos vías para determinar los efectos de la intensidad, el tiempo y su interacción. Las diferencias significativas se analizarán mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$). **Resultados:** Se espera identificar una combinación de intensidad y tiempo que acelere la imbibición, mejore la sincronía germinativa y favorezca el vigor inicial sin causar daño fisiológico. La respuesta podría ser no lineal o presentar un efecto ventana.: Llas dosis moderadas actuarían como eustrés, mientras que las insuficientes no generarían cambios y las excesivas reducirían o revertirán el beneficio. El control sham y el monitoreo térmico permitirán diferenciar el efecto electromagnético de aquel producido por la manipulación, la vibración o el calentamiento. La investigación generará evidencia experimental para una especie forestal nativa sin un protocolo estandarizado de magnetopriming. Una dosis efectiva podría reducir la variabilidad en vivero, optimizar el uso de semillas y favorecer plántulas uniformes para programas de restauración en Casanare. **Conclusiones:** Se obtendrán una base de datos experimental, un protocolo técnico preliminar y fundamentos para futuras investigaciones sobre propagación sostenible de especies nativas de la Orinoquía.

**Palabras clave:** Magnetopriming:; *Anadenanthera peregrina:*; restauración ecológica

**Keywords:** Magnetopriming; Anadenanthera peregrina; ecological restoration

# Aislamiento y caracterización de *Clostridium spp.* para producir biohidrógeno a partir de biomasa agroindustrial de la Orinoquia

# Isolation and characterization of *Clostridium spp.* for biohydrogen production from agro-industrial biomass in the Orinoco region

Camilo D. Mariño Solano[1], Edwin L. Ramos Guarnizo[2], Ariel Parrales Ramirez[3]

[1]Estudiante de Ingeniería Agroforestal, Universidad Internacional del Trópico Americano, Unitrópico, Yopal; [2]Profesor investigador, Grupo de Investigación en Agroforestería y Sostenibilidad GIAF, Universidad Internacional del Trópico Americano, Unitrópico, Yopal; [3]Profesor investigador y orientador metodológico, Universidad Internacional del Trópico Americano, Unitrópico, Yopal

camilomarino.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

**Introducción:** La valorización de residuos agroindustriales mediante fermentación oscura constituye una alternativa para producir biohidrógeno y promover modelos regionales de economía circular. La Orinoquia dispone de biomasa residual y comunidades microbianas anaerobias con potencial biotecnológico aún poco caracterizado. **Objetivo:** Aislar y caracterizar cepas de *Clostridium spp.* con potencial para la producción de biohidrógeno, evaluando su cinética de crecimiento y actividad fermentativa sobre biomasa agroindustrial residual de la Orinoquia. **Métodos:** Se aislarán microorganismos del género *Clostridium* a partir de lodos anaerobios mediante choque térmico, cultivo selectivo y condiciones estrictamente anaerobias a 37 °C. Se evaluarán hidrolizados de cáscara de cacao, yuca y plátano como tratamientos de sustrato. La fermentación se realizará en biorreactores durante 12 h, incorporando campos magnéticos de baja frecuencia y monitoreo adaptativo de pH, de 4,5 a 6,0, y potencial redox mediante herramientas de inteligencia artificial.

Resultados. Se proyecta obtener 24 aislamientos con densidad estandarizada de $10^4$ UFC/mL y ausencia detectable de actividad metanogénica. Los perfiles cinéticos se ajustarán al modelo de Gompertz modificado, con una reducción esperada de 20-30 % de la fase lag y rendimientos objetivo de 2,5-3,4 mol $H_2$/mol de glucosa equivalente. **Conclusiones:** El estudio permitirá determinar el potencial de los microorganismos y residuos agroindustriales para desarrollar un proceso regional optimizado de producción de biohidrógeno.

**Palabras clave:** anaerobiosis, bioestimulación, metanogénesis.

**Keywords:** anaerobiosis, biostimulation, methanogenesis.

# Formulación y preparación de un sustrato biotecnológico a partir de residuos agroforestales para la producción de hidrógeno por fermentación oscura

# Formulation and preparation of a biotechnological substrate from agroforestry residues for hydrogen production in dark fermentation

Iván Ramiro Cárdenas Pan[1], Edwin Leonardo Ramos Guarnizo[2]

[1]Programa de Ingeniería Agroforestal, Semillero de Investigación SIBIOS, Universidad Internacional del Trópico Americano (Unitrópico), Yopal, Colombia; [2] Profesor Investigador, Grupo de Investigación en Agroforestería y Sostenibilidad (GIAF), Universidad Internacional del Trópico Americano (Unitrópico), Yopal, Colombia.

ivancardenas.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

Introducción: Los residuos generados por las cadenas productivas agroforestales representan una fuente valiosa de materia orgánica que puede reincorporarse a la economía circular mediante procesos biotecnológicos. La producción de biohidrógeno a través de fermentación oscura utilizando bacterias del género *Clostridium* es una alternativa limpia para aprovechar estos subproductos. Sin embargo, el éxito de este bioproceso depende de la preparación rigurosa de un medio de cultivo que transforme la biomasa cruda en un sustrato asimilable y nutricionalmente equilibrado para los microorganismos. Objetivo: Formular y estandarizar el proceso de preparación de un sustrato biotecnológico basado en subproductos agroforestales, optimizado para la inoculación con *Clostridium* y su posterior fermentación. Métodos: El trabajo se desarrolló en etapas secuenciales de laboratorio. Primero se realizó la obtención de la biomasa compuesta por cáscaras de yuca (Manihot esculenta), plátano (Musa spp.) y cacao (*Theobroma cacao*), las cuales se sometieron a procesos minuciosos de limpieza y desinfección para eliminar impurezas superficiales. Posteriormente, el material se sometió a corte manual y secado térmico controlado hasta lograr la pérdida completa de humedad, facilitando la molienda mecánica y el tamizado para uniformar la granulometría de las partículas. Con la biomasa acondicionada, se procedió a la preparación del medio de cultivo mediante la adición de solución acuosa y el ajuste de parámetros clave como el pH y la disponibilidad de nutrientes. Finalmente, el medio formulado se preparó para el proceso de inoculación directa con la cepa bacteriana del género Clostridium, dando inicio formal a las pruebas fermentativas. Resultados: Se busca estandarizar un protocolo reproducible para la elaboración del sustrato, asegurando la remoción de contaminantes iniciales y obteniendo una harina de biomasa homogénea. La formulación del medio de cultivo garantiza las condiciones fisicoquímicas adecuadas en cuanto a solubilidad y estabilidad de pH, lo que permitió una exitosa inoculación bacteriana y la viabilidad del inóculo de *Clostridium* al inicio del proceso fermentativo. Conclusiones: La ruta metodológica implementada busca demostrar que la preparación adecuada de residuos de yuca, plátano y cacao permite obtener un medio de cultivo estable y óptimo para procesos biotecnológicos, consolidando una estrategia práctica para la valorización de biomasas agroforestales hacia la generación de energías renovables.

Palabras Clave: Valorización; Biotecnología; Biohidrogeno.

Keywords: valorization; Bioenergy; Biotechnology; Biohidrogen

# Comportamiento metabólico de *Clostridium* durante la fermentación oscura para la producción de biohidrógeno

# Metabolic behavior of *Clostridium* during dark fermentation for biohydrogen production

Juan P Salguedo Acuña[1]; Edwin L Ramos Guarnizo[2]

[1]Estudiante de ingeniería agroforestal, Universidad Internacional del Tropico Americano, Yopal; [2]Profesor Investigador, Grupo de Investigación en Agroforestería y Sostenibilidad (GIAF), Universidad Internacional del Trópico Americano (Unitrópico), Yopal

juansalguedo.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

La fermentación oscura se presenta como una alternativa biotecnológica muy atractiva para darle un nuevo valor a los residuos agroindustriales, transformándolos en biohidrógeno, en este proceso las bacterias del género *Clostridium* son las encargadas de descomponer la materia orgánica fermentable, generando hidrógeno junto con otros metabolitos soluble que aunque no todo es tan sencillo: las características del sustrato y las condiciones físicas y químicas del medio como lo llegan a ser el pH o la temperatura los cuales pueden modificar profundamente su ruta metabólica y en consecuencia, afectar la estabilidad de todo el proceso fermentativo.

Este estudio busca Analizar el comportamiento metabólico de *Clostridium* durante la fermentación oscura de residuos agroindustriales, considerando la disponibilidad del sustrato, las condiciones del medio y su reacción frente a la producción de metabolitos- En donde se maneja una metodología que se encuentra en desarrollo y contempla los ensayos anaerobios con base a escalamiento de laboratorio para evaluar el comportamiento fermentativo de *Clostridium* en donde se consideran variables como concentración y disponibilidad del sustrato, pH, temperatura, carga orgánica y acumulación de metabolitos lo que nos lleva plantear una relación en el consumo de sustrato con la formación de ácidos grasos volátiles, otros productos fermentativos y biohidrógeno, con el propósito de identificar condiciones asociadas con una actividad metabólica estable en donde la información obtenida permitirá establecer condiciones de referencia para el posterior escalamiento del proceso. Como avance del estudio, se han identificado como factores de interés la composición y disponibilidad del sustrato, la concentración de compuestos fermentables, la acumulación de metabolitos y las condiciones fisicoquímicas del medio. Estos factores serán evaluados para determinar su influencia sobre la actividad metabólica de *Clostridium* y su posible relación con la producción de biohidrógeno y en donde nuestros resultados experimentales se encuentran actualmente en proceso de obtención y análisis.

En conclusión, el estudio busca establecer la relación entre las condiciones de fermentación, el comportamiento metabólico de *Clostridium* y la producción de biohidrógeno en dónde se busca observar los problemas que enfrenta o la reacción que puede tomar esta identificación de los factores que favorecen una actividad fermentativa estable, permitirá generar criterios para el control del proceso y aportar bases experimentales para su posterior escalamiento utilizando residuos agroindustriales.

**Palabras Clave:** actividad fermentativa; metabolitos; residuos agroindustriales; rendimiento.

**Keywords:** fermentative activity; metabolites; agro-industrial residues; performance.

# Evaluación de pretratamientos secuenciales en biomasa residual agroforestal para la solubilización de sustratos fermentativos

# Evaluation of sequential pretreatments in agroforestry residual biomass for fermentative substrate solubilization

Angie Khaterine Torres Chaparro[1]; Edwin Leonardo Ramos Guarnizo[2]

*[1]Programa de Ingeniería Agroforestal, Semillero de Investigación SIBIOS, Universidad Internacional del Trópico Americano, Unitrópico, Yopal; [2]Profesor investigador, Grupo de Investigación en Agroforestería y Sostenibilidad GIAF, Universidad Internacional del Trópico Americano, Unitrópico, Yopal*

*angietorres.es@unitropico.edu.co*

**Resumen**

**Introducción:** La valorización de subproductos agroforestales, como las cáscaras de yuca, plátano y cacao, presenta barreras estructurales asociadas con la naturaleza recalcitrante de la matriz lignocelulósica, que limita su transformación biotecnológica directa. Para superar esta limitación, se requieren esquemas de acondicionamiento que alteren la pared celular y maximicen la disponibilidad de azúcares fermentables antes de los procesos de conversión microbiana. **Objetivo:** Evaluar el efecto de un esquema multietapa de pretratamientos físicos, mecánicos, térmicos y biológicos sobre la desestructuración de una matriz de biomasa agroindustrial. **Métodos:** Las cáscaras recolectadas se sometieron a deshidratación térmica en horno y a reducción mecánica de tamaño mediante triturado y tamizado controlado hasta obtener granulometría homogénea. La biomasa acondicionada se suspendió en medio acuoso y se expuso a ultrasonido para promover cavitación y desintegración estructural. Posteriormente, se incorporó un material carbonoso derivado de cascarilla de arroz, obtenido mediante pirólisis en mufla y molienda a polvo fino, como matriz de soporte y acondicionamiento. Como etapa de transformación biótica, el sistema se complementó con un efluente lácteo para degradar previamente polímeros complejos por acción metabólica de bacterias acidolácticas. Finalmente, se aplicó un choque térmico controlado para inactivar la microbiota precursora y preservar los carbohidratos asimilables para posterior inoculación con bacterias del género *Clostridium*. **Resultados:** La combinación secuencial de pretratamientos mecánicos y cavitación ultrasónica redujo la resistencia física del material vegetal e incrementó el área superficial de contacto. La acción biológica previa, asistida por la adición del material carbonoso, favoreció la solubilización de carbohidratos sin generar compuestos potencialmente inhibidores para el desarrollo bacteriano, y produjo una suspensión homogénea y químicamente estable. **Conclusiones:** El esquema integrado de pretratamientos físicos, la adición de biocarbón y la biotransformación láctica previa optimizan la solubilización de las cáscaras de yuca, plátano y cacao, y las convierten en materia prima acondicionada para su aprovechamiento en procesos biotecnológicos avanzados.

**Palabras clave:** bioseguridad, cavitación, biocarbón.

**Keywords:** biosecurity, cavitation, biochar.

# De la escala analítica a escala banco: escalamiento de la producción de biohidrógeno en un biorreactor de 30 L mediante fermentación oscura de residuos agroindustriales

# From Analytical Scale to Bench Scale: Scaling Up Biohydrogen Production in a 30 L Bioreactor through Dark Fermentation of Agro-Industrial Residues

Omar Steven Reyes López[1], Edwin Leonardo Ramos Guarnizo[2]

[1] Estudiante de séptimo semestre, Programa de Ingeniería Agroforestal, Semillero de Investigación SIBIOS, Universidad Internacional del Trópico Americano (Unitrópico), Yopal, Colombia.
[2] Profesor Investigador, Grupo de Investigación en Agroforestería y Sostenibilidad (GIAF), Universidad Internacional del Trópico Americano (Unitrópico), Yopal, Colombia.

omarreyes.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

La producción de biohidrógeno mediante fermentación oscura constituye una alternativa viable para la valorización de biomasa residual; sin embargo, la transición desde la escala analítica de laboratorio hacia sistemas piloto representa uno de los principales desafíos de la ingeniería de bioprocesos debido a la necesidad de mantener la estabilidad metabólica y la eficiencia del proceso. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el escalamiento de la producción de biohidrógeno desde la escala de laboratorio hasta una escala banco en un biorreactor de 30 L, utilizando consorcios microbianos nativos enriquecidos con bacterias esporuladas del género *Clostridium* sp. como recurso de germoplasma de alto valor biotecnológico, con el propósito de establecer criterios técnicos y cinéticos que favorezcan el aprovechamiento sostenible de biomasa residual agroindustrial y agroforestal bajo principios de economía circular. La metodología se desarrollará en tres etapas secuenciales: inicialmente se realizará la propagación escalonada del inóculo obtenido mediante choque térmico a 105 °C durante 30 min, incrementando progresivamente el volumen hasta alcanzar la densidad celular requerida para la operación del biorreactor; posteriormente se acondicionará biomasa residual agroindustrial y agroforestal de la región, estandarizando la carga orgánica en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el balance nutricional; finalmente, se operará un biorreactor automatizado de 30 L bajo condiciones controladas de temperatura (35 °C), pH y velocidad de agitación, evaluando la producción de biohidrógeno y ajustando los datos experimentales al modelo matemático de Gompertz modificado. Se espera establecer las condiciones operacionales que permitan mantener la estabilidad metabólica del consorcio microbiano durante el escalamiento, validar el potencial de residuos agroindustriales y agroforestales como sustratos fermentativos y generar información sobre la cinética de producción de biohidrógeno. En conclusión, esta investigación contribuirá al establecimiento de criterios para el escalamiento de procesos fermentativos, validando la robustez y eficiencia energética de consorcios microbianos regionales y fortaleciendo estrategias biotecnológicas para el desarrollo de biorrefinerías sostenibles que promuevan la valorización de residuos, la bioeconomía, la transición energética y el fortalecimiento de sistemas agroforestales más sostenibles y resilientes.

**Palabras Clave:** Consorcio microbiano; Bioeconomía; Cinética fermentativa; Biorrefinería; Economía circular.

**Keywords:** Microbial consortium; Bioeconomy; Fermentation kinetics; Biorefinery; Circular economy.

# Influencia de la transferencia de masa sobre la actividad fermentativa de *Clostridium* durante la producción de biohidrógeno

# Influence of mass transfer on the fermentative activity of *Clostridium* during biohydrogen production

Solger Andrés Guzmán Molina[1]; Edwin Leonardo Ramos Guarnizo[2]

1Estudiante de Ingeniería Agroforestal, Semillero de Investigación SIBIOS, Universidad Internacional del Trópico Americano (Unitrópico), Yopal; [2]Profesor Investigador, Grupo de Investigación en Agroforestería y Sostenibilidad (GIAF), Universidad Internacional del Trópico Americano (Unitrópico), Yopal

solgerguzman.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

**Introducción:** La producción de biohidrógeno mediante fermentación oscura depende en gran medida de la actividad fermentativa de *Clostridium* y de las condiciones que logren mantener su metabolismo en funcionamiento ya que durante el proceso, el hidrógeno generado debe ser transferido de manera eficiente desde la fase líquida hacia la fase gaseosa; si las condiciones de mezcla y transferencia de masa no son las adecuadas, el gas puede acumularse en el medio y alterar el equilibrio necesario para sostener una producción estable. **Objetivo:** El objetivo de este trabajo es evaluar cómo influye la transferencia de masa en la actividad fermentativa de *Clostridium* durante la producción anaerobia de biohidrógeno, prestando especial atención a las condiciones de mezcla y a la acumulación del gas a lo largo del proceso. **Métodos:** El estudio se encuentra actualmente en fase experimental pero incluye ensayos progresivos a escala de laboratorio, que posteriormente se replicarán en un biorreactor de 30 litros, estas variables que estamos considerando son la velocidad de agitación, las condiciones de mezcla, la producción y composición del biogás, el comportamiento del hidrógeno tanto en la fase líquida como en la gaseosa, además del pH y la temperatura. Nuestra intención es relacionar todas estas variables con la respuesta metabólica de Clostridium y la generación de biohidrógeno, con el fin de identificar aquellas condiciones operativas que favorezcan una buena transferencia del gas y mantengan la homogeneidad dentro del reactor. Como avance, hemos podido constatar que la transferencia de masa es un factor clave para la estabilidad de la fermentación, ya que incide directamente en la eliminación del hidrógeno producido y en las condiciones generales de operación del sistema, hasta ahora, hemos definido como variables prioritarias la agitación, la mezcla, el comportamiento de la fase gaseosa y las propiedades fisicoquímicas del medio. En este momento, nos encontramos en plena fase de evaluación experimental para determinar el efecto real de estas variables sobre la actividad fermentativa de la bacteria. **Conclusión:** En definitiva, con este estudio esperamos establecer con claridad la relación entre la transferencia de masa, la actividad fermentativa de Clostridium y el rendimiento en biohidrógeno. Identificar las condiciones de mezcla y de transferencia líquido-gas que resulten más favorables nos permitirá definir criterios operativos para mantener un entorno adecuado para el microorganismo, y al mismo tiempo, sentar las bases para un futuro escalamiento del proceso a mayor escala.

**Palabras Clave:** transferencia líquido-gas:; actividad fermentativa:; hidrógeno disuelto.; hidrodinámica

**Keywords:** liquid-gas transfer; fermentative activity; dissolved hydrogen; hydrodynamics.

# Aislamiento de Microorganismos Nativos en Fermentaciones de Café en la Finca los Mandarinos
# Isolation of Native Microorganisms from Coffee Fermentations at Finca Los Mandarinos

Angie L. Salavarrieta Saavedra [1] y Mauricio García Arboleda [2]

.

[1] Estudiante de ingeniería en Agroecología, integrante del Semillero de Investigación en Agroecología, Biodiversidad y Alimentación – SIABA. IDEAD, Universidad del Tolima [2] Docente Departamento de Estudios Interdisciplinarios. IDEAD. Universidad del Tolima

alsalavarrietas@ut.edu.co

**Resumen**

La caficultura actual se está enfrentando a las nuevas tendencias del mercado global. El manejo alternativo de postcosecha con la implementación de procesos de fermentación para potencializar las cualidades organolépticas del café ha guiado una alternativa de comercio aún más prometedora para los caficultores; es por ello que desde la finca los Mandarinos ubicada en la vereda Las Amarillas, vía cañón del Combeima se están trabajando en comprender la fermentación del café como una de las tantas fases determinantes en la calidad final de la tasa. Durante este proceso interactúan consorcios microbianos que influyen en las características organolépticas de la bebida. Tradicionalmente, este proceso se ha manejado de forma espontánea o mediante el uso de cultivos iniciadores comerciales, dejando de lado el potencial de los microorganismos nativos endófitos presentes en las drupas. Por ello, comprender y aprovechar el microbiota local garantiza la reducción de la dependencia de insumos externos que favorece a su vez la autonomía productiva de la finca, garantizando mayor resiliencia y adaptabilidad porque se contribuye a conservar un recurso biológico que va de la mano con la apropiación del conocimiento de los productores. El objetivo es aislar e identificar los microorganismos nativos presentes en los diferentes procesos de fermentación del café, con el fin de generar información base para identificar posteriormente su incidencia en las cualidades organolépticas del café. Se tomaron muestras del mosto de la fermentación en distintas etapas o tiempos del proceso. Estas muestras fueron trasladadas al laboratorio de la Universidad del Tolima para realizar el aislamiento microbiológico donde se realizaron diluciones seriadas en solución peptonada estéril y siembra en medios de cultivo selectivo. Para el crecimiento de las levaduras se empleó agar PDA y agar extracto de levadura, dextrosa y cloranfenicol, manteniendo una incubación a 28°C durante 24 a 48 h. Para el aislamiento de bacterias ácido- lácticas se utilizó agar MRS (Man, Rogosa y Sharpe) en incubación a 30°C por 24 h. Las colonias obtenidas se caracterizaron morfológicamente mediante tinción de gram y pruebas bioquímicas preliminares (catalasa). Se obtuvo un aislamiento exitoso de cepas nativas pertenecientes a los géneros Saccharomyces y Lactobacillus a partir de las fermentaciones evaluadas. Estos aislamientos preliminares resaltan la importancia de estudiar y aprovechar el microbiota nativo, en lugar de depender exclusivamente de cultivos comerciales estandarizados con microorganismos que son importados en muchas ocasiones. Trabajar con microorganismos nativos representa una alternativa agroecológica que fortalece la identidad y la sostenibilidad de los sistemas productivos cafeteros, en línea con el enfoque de una sola salud y teniendo en cuenta que muchos de estos microorganismos se han catalogado como precursores de antagonismo con microorganismos que no

generan una inocuidad en el proceso y pueden afectar la calidad del producto. El reconocimiento y conservación de los microorganismos locales es un paso indispensable para avanzar hacia el desarrollo de inóculos autóctonos que potencialicen la identidad territorial del café en el Tolima.

**Palabras Clave**: Agroecología, sistemas de producción, consorcios bacterianos, Lactobacillus.

**Keywords**: Agroecology, production systems, bacterial consortia, Lactobacillus

# Lactosuero fermentado como fuente de bacterias promotoras de crecimiento vegetal: biofertilización circular bajo el enfoque de una sola salud

# Fermented whey as a source of plant growth-promoting bacteria: circular biofertilization under a One Health approach

Fabián A. Chavarro Amézquita[1], Nubia C. Higuera Mora[2]

[1] Estudiantes de ingeniería agroecológica, Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, semillero de investigación Bioprocesos en Agroecosistemas y Sistemas Naturales Intervenidos. [2]Docente, Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, Grupo de investigación Agroeco y gestión ambiental.

fabian.chavarro@uniminuto.edu.co

**Resumen**

El lactosuero representa un pasivo ambiental de la industria láctea cuando se dispone sin tratamiento previo, afectando la salud ambiental y de los ecosistemas agrícolas por su elevada carga orgánica. Bajo el enfoque de Una Sola Salud, la valorización microbiológica de este residuo mediante bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) constituye una alternativa de economía circular para reducir la contaminación y ofrecer bioinsumos sostenibles. En este estudio se evaluó la capacidad de producción de ácido indol-3-acético (AIA) de 46 cepas bacterianas aisladas de lactosuero fermentado de la empresa CORAFLOR (Subachoque, Cundinamarca), conservadas a -80 °C, como criterio funcional para la selección de cepas candidatas a biofertilizantes. La cuantificación de AIA se realizó por el método colorimétrico de Salkowski a 532 nm, en medio LB suplementado con triptófano, tras 72 h de incubación a 28 °C en oscuridad. Los datos se normalizaron por biomasa (D.O. 600 nm) y se compararon contra la cepa de referencia *Azotobacter* sp., empleando triplicados biológicos y un análisis de varianza (ANOVA) de un factor seguido de la prueba de Tukey ($p < 0,05$). El ANOVA reveló diferencias significativas entre los aislamientos ($F = 31,0$; $p < 0,001$). La prueba de Tukey agrupó a la cepa 51 en la misma categoría estadística que la cepa de referencia, superándola numéricamente en 1,14 veces. Seis cepas adicionales (36, 40, 30, 14, 56 y 33) mostraron una producción entre 0,34 y 0,54 veces con respecto a la referencia, mientras que los demás aislamientos registraron valores inferiores a 0,16. Se concluye que la cepa 51 equivale funcionalmente al control en la síntesis de AIA por biomasa, constituyéndose como la candidata principal para la formulación de bioinsumos agrícolas a partir de la valorización del lactosuero, respaldando la viabilidad de transformar un pasivo ambiental en un insumo funcional y sentando las bases para su validación posterior *in vivo*.

**Palabras Clave**: Ácido indol-3-acético; biofertilizantes; economía circular; PGPR; valorización de residuos.

**Keywords:** Indole-3-acetic acid; biofertilizers; circular economy; PGPR; waste valorization.

## MESA 4
## Interacciones microorganismos-suelo-planta
## Coordinadora: Dr. María Alejandra Ospina

# Evaluación del área de colonización en la reproducción de microorganismos de montaña con tres cantidades diferentes de mantillo de bosque a dos meses de fermentación

# Evaluation of the colonization area in the reproduction of efficient microorganisms using three different amounts of forest litter after two months of fermentation

Sara María Rodríguez Rojas[1]; Vandreé Julián Palacios Bucheli[2]; Danny Wilsón Sanjuanelo Corredor[2]

[1]*Estudiante del programa de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Bogotá*; [2]*Docente de tiempo completo, Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Bogotá*

*sarodriguezr@udca.edu.co*

**Resumen**

La reproducción multiplicación de microorganismos (MM) de montaña como materia prima para la elaboración de biofertilizantes en la agricultura agroecológica está protocolizada para el trópico bajo. Sin embargo, para el trópico de altura el tiempo estipulado para el trópico bajo no se aplica, siendo más prolongado para alcanzar una colonización del medio para su reproducción. En este sentido, el presente estudio tuvo por objetivo analizar el área de colonización en la reproducción de MM de montaña con tres cantidades diferentes de mantillo de bosque a dos meses de fermentación. El estudio se llevó a cabo en Bogotá (Universidad de Ciencia Aplicadas y Ambientales U.D.C.A) y en los municipios de Suesca (Vereda Cacicazgo) y Sesquilé (Vereda Nescuatá). El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3x3, evaluando tres niveles de mantillo de bosque (4, 6 y 8 kg) en tres sitios (Bogotá, Suesca y Sesquilé), con tres repeticiones por tratamiento, para un total de 27 unidades experimentales. Se eavaluó como variable respuesta el área de colonización a los dos meses de fermentación anaeróbica. Los insumos para la reproducción de los MM de montaña por cada unidad experimental fueron: (i) 1 litro de MM líquidos obtenidos de la U.D.C.A, (ii) 180 gr de harinas de rocas, (iii) 2,9 litros de melaza, (iv) 7,2 kg de sémola de arroz y (v) 1 tanque con tapa. Adicionalmente, (vi) el mantillo de bosque dependiendo del nivel del tratamiento. Los materiales fueron mezclados sobre un plástico para darles homogeneidad, se colocaron en el tanque presionándolos para promover la salida de aire y optimizar el proceso anaerobio. Una vez todos los tanques fueron montados y etiquetados, se apilaron bajo cubierta en un lugar fresco y seco. A los 60 días se tomaron fotos a la superficie de los tanques utilizando un trípode, las fotos se procesaron con el software ImageJ para determinar el área de colonización de cada tanque. La información se analizó por medio de un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, considerando los efectos del mantillo, el municipio y su interacción. Los resultados muestran que el testigo (4 kg) presenta la mayor área de colonización (184,439 mm), seguido del tratamiento 3 (8 kg) con 157,141 mm y tratamiento 2 (6 kg) con 78,923 mm. El

análisis de varianza no evidenció diferencias significativas en el área de colonización atribuibles al tratamiento 1 versus el tratamiento 2 ($p$ = 0,431), ni al tratamiento 1 versus el tratamiento 3 ($p$ = 0,837), ni al tratamiento 2 versus el tratamiento 3 ($p$ = 0,825). Sin embargo, se observó una alta variabilidad en los datos, con valores extremos en algunos tratamientos, lo que sugiere una respuesta heterogénea en el proceso de colonización microbiana transcurridos dos meses. En conclusión, una variación en la cantidad de mantillo tiene nula influencia en el proceso de reproducción de MM a dos meses de fermentación. Se sugiere evaluar un cambio en la cantidad de otros insumos que influyan en el proceso de reproducción, diferentes niveles de melaza, por ejemplo.

**Palabras clave:** anaeróbica, agricultura agroecológica, software ImageJ

**Keywords:** anaerobic, agroecological farming, ImajeJ software

# Evaluación de las propiedades químicas del suelo en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) del pacífico nariñense

# Assessment of soil chemical properties in agroforestry cacao (*Theobroma cacao* L.) systems of the Nariño Pacific region

Jorge Fernando Navia Estrada[1]; Jesús Geovany Solarte[2]; Pablo Rosero[3], y Yerlin Roseros[3]

[1]Docente de tiempo completo, Facultad Ciencias Agrícolas, Programa Ingeniería Agroforestal, Universidad de Nariño, Pasto; [2]Docente Asociado, Universidad de Nariño, Pasto; [3]Ingenieros Agroforestales. Universidad de Nariño.

jornavia@gmail.com

**Resumen**

La presente investigación se llevó a cabo en el municipio de Tumaco, ubicado en la Costa Pacífica del departamento de Nariño, al sur de Colombia, con el objetivo de evaluar las propiedades químicas del suelo en tres tipos de sistemas agroforestales de cacao: tradicionales, semitecnificados y tecnificados, se implementó un diseño por punto de muestreo, recolectando 12 muestras por sistema a dos profundidades (0–10 cm y 10–20 cm). Las variables químicas analizadas incluyeron pH, materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO), nitrógeno total (N), fósforo disponible (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), azufre (S), aluminio (Al), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y conductividad eléctrica (CE). El análisis estadístico se realizó mediante el software R Studio, versión 4.2. El análisis de varianza evidenció diferencias significativas entre sistemas agroforestales para las variables pH, P, CIC, Ca, Mg, K, S y Al; según profundidad para pH, MO, P, N, CO, S, Al y CE; y por interacción sistema*profundidad únicamente para pH y Al, lo que indica que la mayoría de propiedades edáficas están influenciadas de forma independiente por el tipo de sistema y la estratificación del suelo, mientras que solo algunas responden a su efecto combinado. Se concluyó que los sistemas tradicionales presentaron mejores condiciones edáficas, caracterizados por mayores concentraciones de MO, CIC, Ca, Mg, K, N, CO y S. Asimismo, la capa superficial del suelo (0–10 cm) mostró una fertilidad significativamente superior en comparación con la capa subsuperficial, debido al mayor aporte de residuos orgánicos y a la intensa actividad biológica en los primeros centímetros del perfil del suelo.

**Palabras clave**: suelo; tradicionales, cacao, carbono

**Keywords:** soil; traditional, cocoa,carbon.

# Evaluación de la macrofauna edáfica en dos usos de suelo en la granja experimental Botana municipio de Pasto, Nariño

# Assessment of Soil Macrofauna in Two Land-Use Types at the Botana Experimental Farm, Municipality of Pasto, Nariño

Carlos A Bastidas Saavedra[1]; Paola A Laverde Nocera[1]; Iván A Delgado Vargas[2]; Martín A Muñoz Rodríguez[2]

[1]Estudiante, grupo de investigación PIFIL, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento RENSAF, Universidad de Nariño, Pasto; [2]Docente, grupo de investigación PIFIL, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento RENSAF, Universidad de Nariño, Pasto

Paola07an@gmail.com

**Resumen**

La macrofauna edáfica participa en procesos esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas, como la fragmentación de residuos vegetales, la descomposición de la materia orgánica, el reciclaje de nutrientes y la modificación de la estructura del suelo. La composición y distribución de estos organismos pueden variar en respuesta al tipo de cobertura vegetal y a la profundidad del suelo. Los sistemas agroforestales, debido a su diversidad estructural y aporte de residuos orgánicos, pueden proporcionar condiciones favorables para el establecimiento de comunidades de macroinvertebrados. El objetivo de este estudio fue evaluar la densidad, riqueza, diversidad y distribución vertical de la macrofauna edáfica en un sistema agroforestal y una pradera de la Granja Experimental Botana, ubicada en Pasto, Nariño, a 2.820 m s. n. m. Se empleó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 × 2 × 4, en el cual los factores correspondieron a épocas de muestreo de máxima y mínima precipitación, al uso del suelo sistema agroforestal y pradera y a cuatro estratos de muestreo: mantillo, 0–10, 10–20 y 20–30 cm. La recolección de los organismos se realizó mediante la metodología TSBF. Se determinaron la densidad, la riqueza taxonómica y los índices de diversidad de Shannon-Wiener y Simpson (1 − D). Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza factorial, considerando los efectos del uso del suelo, la profundidad y su interacción. Debido a que la investigación se encuentra en desarrollo, los resultados presentados corresponden a la época de máxima precipitación. El sistema agroforestal presentó una densidad total de 4.400 individuos/m², mientras que en la pradera se registraron 2.896 individuos/m². Se encontraron 22 taxones en el sistema agroforestal y 23 en la pradera. A nivel de sistemas agrarios, se encontró mayor abundancia de la familia Enchytraeidae, con 1.296 individuos/m² en el sistema agroforestal y 560 individuos/m² en la pradera, para la familia Lumbricidae, fue 608 y 496 individuos/m² respectivamente. La diversidad fue semejante entre los usos del suelo, el índice de Shannon-Wiener fue de 2,41 en el sistema agroforestal y 2,59 en la pradera, mientras que Simpson (1 − D) alcanzó valores de 0,86 y 0,90, respectivamente. Para ambos usos, la mayor densidad se concentró en el estrato de 0–10 cm, con un total de 4.672 individuos/m², seguido del mantillo, con 2.016 individuos/m²; en los estratos de 10–20 y 20–30 cm se registraron 512 y 96 individuos/m², respectivamente. La profundidad influyó significativamente sobre la densidad, la riqueza y la diversidad de la macrofauna edáfica, lo que evidencia una marcada distribución vertical de los

organismos. Para esta última variable (densidad), un factor importante también fue el uso del suelo, el cual mostró diferencias significativas con una mayor abundancia registrada en el sistema agroforestal. Se concluye que los estratos superficiales constituyen los principales hábitats para la macrofauna edáfica y que una mayor densidad en el sistema agroforestal no necesariamente se traduce en una mayor riqueza o diversidad taxonómica.

**Palabras clave:** Biodiversidad; densidad; distribución vertical.

**Keywords:** Biodiversity; density; vertical distribution.

# Evaluación de algunas propiedades físicas y químicas en la etapa del establecimiento de diferentes usos del suelo en la finca de Botana de la universidad de Nariño

# Evaluation of certain physical and chemical properties during the establishment phase of different land uses at the University of Nariño's Botana farm

Jorge Fernando Navia Estrada[1], Daniel Esteban Anganoy López[2], Héctor Rubelly Estacio Alarcón[2]

1 Ing. Agrónomo, Ph.D Suelos. Profesor Titular. Facultad Ciencias Agrícolas, Programa Ingeniería Agroforestal. Universidad de Nariño. E-mail: jornavia@gmail.com.
2 Ingenieros Agroforestales. Universidad de Nariño.

dalo12223@gmail.com

**Resumen**

Con el objetivo de evaluar el cambio de las propiedades físicas y químicas del suelo con diferentes usos en la etapa de establecimiento, se evaluaron los siguientes tratamientos **T1:** Guayacán – pichuelo – brevo, **T2**: Guayacán – pichuelo – brevo + Maíz y **T3:** Guayacán – pichuelo-tomate + brevo, para determinar cómo los tratamientos pudieron influir en el cambio de las propiedades del suelo. Por lo tanto, se realizaron dos análisis de suelo en dos épocas diferentes, la época 1 (**E1**) fue el análisis que se realizó previo al establecimiento de cada tratamiento y la época 2 (**E2**) corresponde al análisis de suelo que se realizó un año después de establecidos. El trabajo se desarrolló en la Granja Experimental de la Universidad de Nariño, ubicada en la vereda Botana, municipio de Pasto. El tratamiento que presentó mejor resultado frente a las propiedades físicas fue **T1,** el cual presentó un mejor comportamiento superior en la densidad aparente, en % de porosidad, y, en el cálculo del diámetro medio ponderado (**DMP**) fue mayor, lo que permite que el suelo presente mejores condiciones para el desarrollo de raíces, evitando encharcamientos y la compactación, además de mantenerse como un suelo franco, óptimo para el desarrollo de los cultivos. Con relación a las propiedades químicas el tratamiento que presentó mejores resultados fue **T2** el cual incrementó en la mayoría de variables, destacando incrementos en pH, % M.O, CIC, Saturación de bases, lo que permitirá que a futuro el suelo disminuya su acidez, lo cual es de vital importancia, teniendo en cuenta las características que los suelos andisoles, en especial los de Nariño, permitiendo que los cationes ácidos se separen de las zonas de retención y estos lugares puedan ser ocupados por bases que ayuden al desarrollo de los cultivos.

**Palabras claves:** Suelo, Sistemas agroforestales, Propiedades, Andisol.

**Keywords:** Soil; Agroforestry System, Properties, Andisol

# Comportamiento agronómico de dos especies de frijol bajo fertilización con calcio y magnesio en Yopal, Casanare: avances de investigación

# Agronomic performance of two bean species under calcium and magnesium fertilization in Yopal, Casanare: research progress

Camila Acosta Urbano[1], Haider Ibarra Blanco[2]

Estudiantes de Ingeniería Agroforestal, Casanare, Universidad Internacional del Trópico Americano UNITRÓPICO, Yopal

xeilynacosta.es@unitropico.edu.co

Resumen

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L. y *Vigna unguiculata*) es un cultivo de alta importancia alimentaria y productiva, distribuido en regiones tropicales y subtropicales. Este trabajo presenta los avances de un proyecto de investigación en curso, con el objetivo de evaluar el crecimiento vegetativo del frijol caupí y el frijol radical en Yopal, Casanare, bajo la aplicación de un fertilizante edáfico a base de calcio soluble (CaO, 20,0 g/L) y magnesio soluble (MgO, 8,0 g/L). El ensayo se estableció bajo un arreglo bifactorial (especie × fertilización) en diseño sistemático (no aleatorizado), con cuatro unidades experimentales T1 (Ca-Mg) y T2 (control) por especie, sin repeticiones, con submuestreo aleatorio de tres plantas por unidad para el monitoreo semanal. La fertilización se inició al comienzo de la etapa de floración, mediante aplicaciones edáficas en corona cada ocho días, en solución al 0,25 % v/v, equivalente a 0,05 g/L de CaO y 0,02 g/L de MgO en la solución aplicada. Se evaluaron la altura de planta (AP) y el número de hojas (NH) como indicadores del desarrollo vegetativo. Los resultados preliminares muestran un incremento progresivo del desarrollo vegetativo en ambas especies, con un patrón consistente a favor de las plantas fertilizadas. En NH, T1 superó a T2 tanto en caupí (113 frente a 60 hojas) como en radical (70 frente a 24 hojas), totales de las tres plantas monitoreadas. En AP se observó el mismo patrón: el caupí fertilizado alcanzó 170 cm frente a 117 cm en el control, y el radical fertilizado llegó a 70 cm frente a 25 cm, consistente con el hábito de crecimiento de cada especie enredadera en el caupí y arbustivo en el radical. Esta tendencia, consistente entre especies y variables, constituye una primera evidencia agronómica del aporte del calcio y el magnesio en el desarrollo vegetativo del cultivo. Dado que un mayor desarrollo foliar y mayor altura se asocian a una mayor capacidad fotosintética y disponibilidad de fotoasimilados, es razonable esperar que esta ventaja vegetativa favorezca la floración y el llenado de vainas conforme avance el ciclo. Estos avances permiten concluir que, en esta fase del proyecto, ambas especies mostraron un desarrollo vegetativo favorable bajo las condiciones de la Orinoquía, con un mayor NH y AP en los tratamientos fertilizados con calcio y magnesio. Esta tendencia es coherente con el papel fisiológico de ambos elementos: el calcio, componente estructural de la pared celular, favorece la firmeza y el vigor de los tejidos, mientras que el magnesio, núcleo de la clorofila, sostiene la actividad fotosintética que impulsa el crecimiento foliar. Estos resultados preliminares respaldan el manejo nutricional con calcio y magnesio como una vía favorable para el desarrollo del cultivo, y sugieren el potencial de ambas especies como alternativa de producción sostenible en la región, con beneficios asociados a la conservación del suelo y la fijación biológica

de nitrógeno. La confirmación de esta relación, así como la evaluación de la fase reproductiva y productiva, se abordará en las siguientes etapas del proyecto.

**Palabras Clave:** *Vigna unguiculata*, *Phaseolus vulgaris*, desarrollo vegetativo

**Keywords:** *Vigna unguiculata, Phaseolus vulgaris,* vegetative development

# Comportamiento agronómico del frijol caupí (*Vigna unguiculata*) bajo fertilización con elementos menores en Yopal, Casanare: avances de investigación

# Agronomic performance of cowpea (*Vigna unguiculata*) under fertilization with minor elements in Yopal, Casanare: research findings

Jhohan S. Berdugo Gaona[1]; María C. Cabeza Garavito[2]

[1]Estudiante de Ingeniería Agroforestal, Universidad Internacional del Trópico Americano UNITRÓPICO, Yopal; [2]Docente de tiempo completo, Universidad Internacional del Trópico Americano UNITRÓPICO, Yopal

jhohanberdugo.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

El frijol caupí (*Vigna unguiculata*) es una leguminosa de alto valor agroalimentario por su aporte nutricional, adaptabilidad edafoclimática y capacidad de fijación biológica de nitrógeno. Este trabajo presenta los avances de un proyecto de investigación en curso, con el objetivo de evaluar el crecimiento y desarrollo del frijol caupí, variedad trepadora, mediante el registro periódico de variables agronómicas desde el inicio de la aplicación de un fertilizante foliar de elementos menores boro (1,0 %), hierro (3,0 %), manganeso (1,9 %) y zinc (4,0 %), además de potasio ($K_2O$ 3,0 %), magnesio (MgO 15,5 %) y azufre (17,0 %). El experimento se realizó en el Centro Experimental y de Investigación Granja El Remanso, de la Universidad Internacional del Trópico Americano (Unitrópico), en Yopal, Casanare, bajo un diseño sistemático (no aleatorizado): cuatro surcos como unidad experimental, dos repeticiones por tratamiento y diez submuestras (plantas) por unidad. Se evaluaron dos tratamientos: T1, con fertilizante foliar al 0,5 % p/v; y T2, sin fertilización, distribuidos en orden fijo (T1, T2, T1, T2). Semanalmente se midió la altura de la planta (AP), el número de hojas (NH), flores (NFL) y frutos (NFT). Los resultados evidenciaron un crecimiento progresivo del cultivo: la AP promedio general pasó de 22,65 cm a 122,20 cm al final del periodo evaluado, con registros individuales de hasta 159 cm. El NH promedio general aumentó de 1,95 a 23,10 hojas, y en las últimas semanas de registro fue consistentemente mayor en T1 (25,50–25,60) que en T2 (19,40–21,90). El NFL alcanzó un máximo promedio de 3,15 flores por planta, seguido de una disminución hasta 1,03 asociada a la formación de vainas, y el NFT llegó a un promedio de 9,45 frutos por planta al cierre del periodo. Pese a esta tendencia favorable de T1 en número de hojas, la prueba ANOVA no evidenció diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para número de hojas ($p=0,200$) ni número de frutos ($p=0,435$) en la última semana de registro correspondiente a esta fase del proyecto.Estos avances permiten concluir que el frijol caupí presentó un desarrollo vegetativo y reproductivo progresivo bajo ambas condiciones de manejo, con una tendencia numérica favorable a la aplicación de elementos menores en el número de hojas. Esta tendencia es consistente con el papel fisiológico conocido de los elementos evaluados: el zinc participa en la integridad estructural y procesos metabólicos del desarrollo foliar, el boro contribuye a la estabilidad de la pared celular y las membranas, el manganeso activa enzimas fotosintéticas, y el hierro interviene en la síntesis de clorofila, vinculado además con el amarillamiento foliar observado en algunas plantas del ensayo. Dado que el número de hojas es un indicador aproximado de la superficie fotosintética disponible no medida directamente en este estudio, esta tendencia

podría favorecer la disponibilidad de fotoasimilados hacia la fase reproductiva y de llenado de vainas conforme avance el cultivo. La confirmación de esta relación se abordará en las siguientes fases del proyecto, con el registro de la cosecha y la ampliación del número de unidades experimentales evaluadas.

**Palabras Clave:** variables agronómicas, fertilización foliar, desarrollo

**Keywords:** agronomic variables, foliar fertilization, development

# Impacto de la aplicación del fertilizante NPK en la dinámica de la micorrización en dos tipos de climas.

# Impact of NPK fertilizer application on mycorrhization dynamics under two climate types.

Adriana S. Pérez Aguilar[1]

[1]Estudiante de Ingeniería Agroforestal, Universidad Internacional del Trópico Americano, Yopal

Adrianaperez.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

La microbiota edáfica, y en particular los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), cumple un papel clave en la regulación de servicios ecosistémicos dentro de sistemas agropecuarios y agroforestales, al facilitar la absorción de agua y nutrientes de baja movilidad como el fósforo y el nitrógeno. Sin embargo, el uso intensivo de fertilizantes químicos NPK altera esta simbiosis, afectando procesos subterráneos que sostienen la productividad, la fertilidad del suelo y la resiliencia climática de los agroecosistemas. El presente estudio se planteó con el propósito de determinar el impacto de la aplicación del fertilizante NPK sobre la dinámica de la micorrización en dos condiciones climáticas contrastantes (cálida y fría), comparando el porcentaje de colonización y el número de esporas en especies forrajeras y nativas, con el fin de aportar evidencia para el diseño de estrategias de fertilización que preserven los servicios ecosistémicos del suelo. El estudio se desarrolló en dos sitios: la Finca La Vorágine (Yopal, Casanare, clima cálido) y la Granja San Isidro Labrador (Soracá, Boyacá, clima frío). En cada sitio se establecieron seis parcelas de 12 m², distribuidas en dos tratamientos con tres repeticiones: T0 (testigo, sin fertilización) y T1 (NPK al 15 %, aplicado en tres dosis coincidentes con los cortes de forraje). A los 60 días de cada aplicación se midió biomasa fresca y seca, y se recolectaron raíces y suelo rizosférico. La colonización micorrízica se evaluó mediante tinción con azul de tripano y observación microscópica de hifas, vesículas y arbúsculos, calculando el porcentaje de colonización como la proporción de campos colonizados sobre el total observado. Las esporas se extrajeron por tamizado húmedo, centrifugación con sacarosa al 70 % y conteo bajo estereoscopio, expresándose por cada 100 g de suelo seco. Se evidenció que las parcelas testigo (T0) mantengan porcentajes de colonización micorrízica más altos y una mayor diversidad de esporas en ambos climas, evidenciando una relación simbiótica estable en ausencia de fertilización química. En el clima cálido, se anticipa que la fertilización moderada favorezca ciclos vegetativos más cortos sin comprometer drásticamente la colonización, gracias a la capacidad de los HMA tropicales de sostener la transferencia de nutrientes entre plantas incluso bajo cierta presión de fertilización. En el clima frío, se observó una mayor sensibilidad de la simbiosis a la adición de NPK, con una reducción más marcada en la colonización y en la abundancia de esporas, lo que resaltaría su rol en el secuestro de carbono y la protección frente al estrés hídrico. En conjunto, estos resultados favorecen la hipótesis de que preservar la micorrización nativa mantiene servicios ecosistémicos esenciales: ciclado de nutrientes, estructura del suelo, secuestro de carbono y regulación hídrica. Este estudio evidencia que la dinámica de la micorrización responde de manera diferencial según el clima, siendo más resiliente en sistemas cálidos y más vulnerable en sistemas fríos ante la fertilización NPK. Esto respalda la necesidad de estrategias de fertilización integrada que combinen dosis moderadas con

biofertilización, permitiendo sostener la productividad agropecuaria y agroforestal sin sacrificar los servicios ecosistémicos que dependen de comunidades micorrízicas saludables, especialmente frente a escenarios de cambio climático.

**Palabras clave:** biofertilización, servicios ecosistémicos, estrés hídrico.

**Keywords:** biofertilization, ecosystem services, water stress.

# Efecto de cuatro tipos de abonos orgánicos sobre la composición edafoquimica del cultivar de forraje bajo las condiciones edafoclimáticas de Yopal, Casanare.

# Effect of Four Types of Organic Fertilizers on the Edaphochemical Composition of a Forage Cultivar under the Soil and Climatic Conditions of Yopal, Casanare, Colombia

Aleider Rincon Vargas[1]

[1]Estudiante de Ingeniería Agroforestal, Universidad Internacional de Trópico Americano, Yopal

aleiderrincon.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

En las regiones tropicales, la sostenibilidad de los sistemas de producción ganadera depende de la productividad, persistencia y resiliencia de las pasturas frente a condiciones edafoclimáticas que favorecen una rápida transformación de la materia orgánica. En el piedemonte llanero de Yopal, Casanare, caracterizado por temperaturas medias cercanas a 28 °C y una marcada estacionalidad de las precipitaciones, la elevada actividad microbiana puede acelerar la descomposición y mineralización del carbono orgánico del suelo, afectando la estabilidad de sus propiedades químicas y la disponibilidad de nutrientes. Esta dinámica puede contribuir a la disminución del carbono orgánico, modificaciones en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), alteraciones del equilibrio de bases intercambiables y una menor eficiencia en la retención y suministro de macro y micronutrientes requeridos para el crecimiento de las plantas forrajeras. En este contexto, el uso de abonos orgánicos constituye una estrategia potencial para mejorar la funcionalidad del suelo mediante el aporte de carbono y nutrientes en diferentes formas y velocidades de transformación. Particularmente, la Materia Orgánica Disuelta (MOD), constituida por compuestos orgánicos de elevada movilidad y reactividad, puede desempeñar un papel central en la regulación de procesos edáficos debido a su capacidad para interactuar con minerales y especies iónicas, participar en procesos de complejación y quelación, modificar la disponibilidad de nutrientes y estimular la actividad microbiana. Asimismo, su transformación puede influir sobre las condiciones de óxido-reducción del suelo y sobre la dinámica de elementos asociados a hierro y manganeso, con posibles implicaciones en la disponibilidad de fósforo y micronutrientes. La presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de cuatro tipos de abonos orgánicos sobre las propiedades edafoquímicas del suelo y su relación con el desarrollo de un cultivar de forraje bajo las condiciones edafoclimáticas de Yopal, Casanare. Se plantea la hipótesis de que la naturaleza química y la forma física de las enmiendas determinan respuestas diferenciadas en la dinámica de la materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes y la respuesta del cultivo, y que estas respuestas son moduladas por las condiciones climáticas tropicales. El experimento se establecerá bajo un diseño de bloques, con seis tratamientos: testigo sin aplicación, fertilización de síntesis industrial, abono orgánico líquido, abono organomineral líquido, abono orgánico sólido y abono organomineral sólido, con tres réplicas por tratamiento y unidades experimentales de 12 m². Se realizarán muestreos de suelo y material vegetal a los 0, 60, 120 y 180 días. En laboratorio se determinarán MOD, fracciones húmicas, pH, conductividad eléctrica, CIC, carbono

orgánico, nitrógeno, fósforo, azufre, bases intercambiables, acidez y micronutrientes, además de variables asociadas a la dinámica de la materia orgánica y la fertilidad del suelo. Se observó que los abonos líquidos generen respuestas iniciales más rápidas debido a la disponibilidad de fracciones solubles y de rápida transformación, mientras que los abonos sólidos favorezcan una incorporación más sostenida de carbono y efectos prolongados sobre la calidad del suelo. Asimismo, se planteó que las formulaciones organominerales presenten respuestas diferenciadas respecto a las fuentes orgánicas puras como consecuencia de la interacción entre carbono orgánico y nutrientes minerales. La elevada temperatura de Yopal podría acelerar la transformación de las fracciones lábiles y modificar su permanencia en el suelo. Los resultados permitirán establecer la contribución de la MOD como componente funcional en la interacción entre materia orgánica, fertilidad edáfica y nutrición vegetal, generando criterios para el manejo diferencial de abonos orgánicos orientados a mejorar la productividad y resiliencia de las pasturas en sistemas ganaderos tropicales.

**Palabras Clave:** Materia orgánica disuelta; fertilidad del suelo; pasturas tropicales.

**Keywords:** Dissolved organic matter; soil fertility; tropical pastures.

# Composición y estado físico de abonos orgánicos modulan la materia orgánica disuelta, propiedades físico-hidráulicas, estructura edáfica y desarrollo forrajero.

# The composition and physical state of organic fertilizers modulate dissolved organic matter, soil physical-hydraulic properties, soil structure, and forage development.

Jholfry Stybel Benavides Viancha [1]

[1] Estudiante del Programa de Ingeniería Agroforestal Universidad Internacional del Trópico Americano, Yopal- Casanare

jholfrybenavides.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

El presente proyecto de investigación aborda el problema de la degradación física de los suelos en el piedemonte llanero de Yopal, Casanare, zona donde las altas temperaturas, cercanas a los 27 °C, aceleran la descomposición de la materia orgánica y provocan pérdida de carbono, compactación y reducción de la porosidad. Esto limita la infiltración de agua, la aireación y el desarrollo radicular de los forrajes. Ante esta problemática, se plantea que la incorporación de enmiendas orgánicas, tanto sólidas como líquidas, puede mejorar la estructura del suelo, ya que la materia orgánica favorece la formación de agregados estables y mejora la retención de agua y la capacidad de enraizamiento. El objetivo del estudio es evaluar cómo la composición y el estado físico de cuatro tipos de abonos orgánicos modifican la dinámica de la materia orgánica disuelta y su relación con las propiedades físico-hidráulicas del suelo, así como su efecto sobre el desarrollo de un cultivar de forraje bajo las condiciones climáticas de Yopal. Para lograrlo, se plantea una investigación cuantitativa, experimental y longitudinal, con un diseño de bloques completos al azar. Se compararán seis tratamientos, entre ellos un testigo, una fertilización química convencional, y cuatro variantes de abonos orgánicos y organominerales en estado líquido y sólido, con tres repeticiones cada uno, en un total de dieciocho unidades experimentales. Antes de iniciar el experimento se realizará una caracterización física, química e hidráulica del suelo, y posteriormente se harán muestreos a los 0, 60, 120 y 180 días para evaluar la evolución de la materia orgánica disuelta, las propiedades del suelo y el crecimiento del forraje. Los datos se analizarán mediante pruebas estadísticas como análisis de varianza, modelos mixtos y técnicas multivariadas, incluyendo componentes principales y regresión, considerando también las variables climáticas registradas durante el estudio. En cuanto a los resultados posibles, se espera que los abonos sólidos generen mejoras más duraderas en la estructura del suelo, gracias a la liberación lenta de carbono, mientras que los abonos líquidos podrían producir respuestas más rápidas, pero de menor duración. Es probable que todos los tratamientos orgánicos superen al testigo y a la fertilización química en cuanto a infiltración, porosidad y desarrollo radicular, siendo los organominerales los que combinen mejor las ventajas físicas con una mayor disponibilidad de nutrientes, logrando así un mejor desempeño productivo del forraje. Como conclusión proyectada, el estudio permitiría demostrar que el tipo de abono y su estado físico determinan de manera diferenciada la transformación de la materia

orgánica en el suelo, lo cual influye directamente en la recuperación de su estructura, en la disponibilidad de nutrientes y en el crecimiento del forraje. Estos resultados aportarían información valiosa para seleccionar las enmiendas orgánicas más adecuadas para la recuperación de suelos degradados en zonas tropicales húmedas como el piedemonte llanero de Casanare.

**Palabras Clave:** materia orgánica disuelta, abonos orgánicos, propiedades físico-hidráulicas del suelo.

**Keywords:** dissolved organic matter, organic amendments, soil physical-hydraulic properties.

# Dinámica de los abonos orgánicos sólidos minerales en la simbiosis de la micorriza en dos condiciones edafoclimáticas con especies forrajeras.

# Dynamics of solid mineral organic fertilizers in the symbiosis of mycorrhiza in two soil and climatic conditions with forage species.

Karen N. Pico[1]

[1]Estudiante de Ingeniería Agroforestal
Universidad Internacional del Trópico Americano, Yopal

Karenpico.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

La agricultura y ganadería enfrentan retos como el cambio climático, la pérdida de fertilidad del suelo y la dependencia de fertilizantes sintéticos, lo que genera desequilibrios ecológicos en los agroecosistemas. Los abonos orgánicos sólidos minerales surgen como alternativa sostenible que libera nutrientes gradualmente y mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En este contexto, los hongos micorrízicos arbusculares cumplen un papel clave al establecer simbiosis con la mayoría de las plantas forrajeras, ampliando la exploración radicular, mejorando la absorción de agua y nutrientes, y mitigando el estrés hídrico y biótico. Estas interacciones forman redes comunes de micorrizas que sostienen servicios ecosistémicos esenciales en sistemas agropecuarios y agroforestales, como el ciclo de nutrientes, la regulación hídrica y la resiliencia de las praderas frente a la degradación. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la dinámica de la aplicación de abonos orgánicos sólidos minerales sobre el comportamiento de la simbiosis micorrízica en dos condiciones edafoclimáticas contrastantes con especies forrajeras. El estudio se realizó en dos sitios: uno de clima cálido en Yopal, Casanare, con *Brachiaria sp.,* y otro de clima frío en Soracá, Boyacá, con pasto *Kikuyo.* En cada sitio se establecieron seis parcelas bajo diseño completamente al azar, con tratamientos testigo (T0) y abono orgánico sólido mineral (T1), con tres repeticiones cada uno. Se tomaron muestras de suelo antes y después del tratamiento, y a los sesenta días se cosechó la biomasa forrajera y las raíces. En laboratorio se determinó el porcentaje de colonización radical mediante tinción con azul de tripano, y la densidad de esporas de HMA mediante tamizado húmedo, centrifugación en sacarosa y conteo bajo estereoscopio. Se encontró que las parcelas con abono orgánico sólido mineral (T1) muestran mayor porcentaje de colonización radical y mayor densidad de esporas de HMA respecto al testigo (T0) en ambas zonas edafoclimáticas, evidenciando un efecto sinérgico entre la fertilización orgánica y la actividad micorrízica. En el sitio frío se evidenció una mayor densidad de esporas asociada a la mayor humedad del suelo, mientras que en el sitio cálido una colonización eficiente por géneros tolerantes a la sequía como Glomus. Estos resultados favorables sustentan un incremento en la producción de biomasa forrajera, mejor aprovechamiento del fósforo y otros nutrientes de baja movilidad, y mayor tolerancia de las pasturas al pisoteo y la defoliación, reflejando así el fortalecimiento de servicios ecosistémicos clave como el ciclo de nutrientes, la conservación de la fertilidad del suelo y la regulación hídrica en los sistemas agropecuarios y agroforestales estudiados. En conclusión, la aplicación de abonos orgánicos sólidos minerales potenció la simbiosis micorrízica de forma diferenciada según las condiciones climáticas, confirmando que la eficiencia de esta asociación depende del contexto

edafoclimático. Al fortalecer la colonización y esporulación de HMA, esta práctica contribuye a restaurar la funcionalidad ecológica de las praderas, promoviendo servicios ecosistémicos fundamentales para la sostenibilidad de sistemas agroforestales, y reduciendo la dependencia de fertilización química externa.

**Palabras Clave:** colonización radical, densidad de esporas, servicios ecosistémicos.

**Keywords:** radical colonization, spore density, ecosystem services.

# Efecto del compostaje de residuos sólidos orgánicos urbanos sobre la simbiosis micorrízica en forrajes establecidos en dos climas

# Effect of composting urban organic solid waste on mycorrhizal symbiosis in forages established in two climates

Maria A. Vargas Cardenas[1]

[1]Estudiante de ingeniería Agroforestal, Universidad Internacional del Trópico Americano, Yopal

mariaavargas.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

La ganadería representa una de las actividades productivas más extendidas a nivel mundial, sustentada en gran medida por especies forrajeras como *Brachiaria* sp. y *Megathyrsus* sp., ampliamente usadas en zonas tropicales por su adaptabilidad y productividad. Sin embargo, el manejo convencional intensivo genera compactación, erosión y pérdida de fertilidad del suelo. Frente a esta problemática, el compostaje de residuos sólidos orgánicos urbanos (RSOU) surge como una alternativa de economía circular que mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, favoreciendo además la actividad de microorganismos benéficos como los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), cuya simbiosis con las raíces incrementa la absorción de agua y nutrientes poco móviles como P, Zn, N, K, Mg y Ca, además de conferir tolerancia a estreses ambientales. El objetivo de la investigación fue determinar el efecto de la aplicación de compostaje de residuos sólidos orgánicos urbanos sobre la simbiosis micorrízica en forrajes establecidos bajo dos condiciones climáticas contrastantes, frío y cálido. El estudio se desarrolló en dos localidades de Colombia: Soracá, Boyacá, en clima frío, con pasto kikuyo y suelo Alfisol, y Yopal, Casanare, en clima cálido, con pasto Brachiaria y suelo Entisol. Se empleó un diseño completamente al azar con dos tratamientos, T0 control y T1 con abono orgánico sólido, y tres repeticiones por condición climática, en parcelas de 12 metros cuadrados. Se recolectaron muestras de suelo y raíces para determinar el porcentaje de colonización radicular mediante tinción con azul de tripano, y la densidad de esporas de HMA mediante tamizado, centrifugación con sacarosa y conteo en estereoscopio. Se presentó que la aplicación del compostaje de RSOU favoreció significativamente la simbiosis micorrízica en ambas condiciones climáticas, evidenciándose en un mayor porcentaje de colonización radicular y una mayor densidad de esporas de HMA en las parcelas T1 frente al control T0. Se obtuvo que este efecto es más pronunciado en la condición de clima cálido, dado que las temperaturas superiores a 20-26°C estimulan la velocidad de colonización y el desarrollo del micelio extrarradical, mientras que en clima frío la respuesta fue positiva, pero de menor magnitud. Estos resultados favorables refuerzan el papel del compostaje como estrategia que potencia servicios ecosistémicos clave en sistemas agropecuarios y agroforestales, tales como el ciclaje de nutrientes, la regulación hídrica del suelo, el secuestro de carbono, la estabilización de agregados edáficos y la resiliencia de las pasturas frente a la variabilidad climática, contribuyendo así a la sostenibilidad de los sistemas productivos. La integración de compostaje de RSOU con la promoción de la simbiosis micorrízica representa una estrategia agroecológica prometedora para mejorar la productividad forrajera y la salud del suelo en contextos climáticos diversos. Esta práctica podría consolidarse como una herramienta de manejo sostenible que fortalece los servicios

ecosistémicos de aprovisionamiento y regulación en sistemas agropecuarios y agroforestales, aportando además una solución ambientalmente responsable para la disposición de residuos orgánicos urbanos, en línea con los principios de la economía circular.

**Palabras Clave:** agroecología, colonización radicular, esporas

**Keywords:** agroecology, root colonization, spores

# Influencia de la materia orgánica disuelta líquida bajo dos condiciones climáticas en la simbiosis micorrízica en forrajes

## *Influence of liquid dissolved organic matter on mycorrhizal symbiosis in forage crops under two climatic conditions*

Sandra Y. Pérez Aguilar[1]

[1] Estudiante del programa Ingeniería Agroforestal Universidad Internacional del Trópico Americano, Yopal- Casanare

sandraperezy.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

La simbiosis micorrízica arbuscular es una asociación clave entre los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las raíces de las plantas forrajeras, que favorece la absorción de agua y nutrientes, mejora la estructura del suelo mediante la producción de glomalina, y contribuye a la estabilidad de los agregados edáficos. En sistemas agropecuarios y agroforestales, esta relación es un servicio ecosistémico de regulación y soporte, ya que sostiene la fertilidad del suelo, reduce la erosión y aumenta la resiliencia de las pasturas frente al estrés hídrico y térmico. La incorporación de materia orgánica disuelta líquida (DOM), como el Abono Orgánico Líquido Mineral (AOLM), se plantea como una estrategia sostenible que podría potenciar estos beneficios sin generar los efectos negativos asociados a la fertilización química convencional. El objetivo del estudio fue determinar la influencia de la materia orgánica disuelta líquida, bajo dos condiciones climáticas contrastantes (clima cálido y clima frío), sobre la simbiosis micorrízica en especies forrajeras gramíneas. El estudio se desarrolló en dos localidades: Yopal, Casanare (clima cálido, pasto Brachiaria) y Soracá, Boyacá (clima frío, pasto Kikuyo). En cada sitio se establecieron seis unidades experimentales de 12 m², distribuidas en dos tratamientos con tres repeticiones: T0, testigo sin aplicación, y T1, con aplicación de AOLM (7,2 L por parcela cada 30 días). Se evaluaron el porcentaje de colonización micorrízica mediante tinción de raíces con azul de tripano, y la densidad de esporas de HMA por 100 g de suelo seco, mediante tamizado húmedo y centrifugación en sacarosa. Se observo que las parcelas tratadas con AOLM presenten un incremento significativo en el porcentaje de colonización micorrízica y en la densidad de esporas respecto al tratamiento testigo, en ambas condiciones climáticas. En el sitio de clima frío (Soracá), se observó una mayor densidad de esporas asociada a mecanismos de resistencia frente a temperaturas bajas, mientras que en el sitio de clima cálido (Yopal) se evidencio una colonización más activa favorecida por la disponibilidad hídrica y la temperatura. Estos resultados reforzarían el papel de la DOM líquida como promotora de servicios ecosistémicos de regulación (ciclaje de nutrientes, estructura del suelo) y de soporte (biodiversidad microbiana), sin generar efectos fitotóxicos ni disminuir la diversidad fúngica nativa. Se estableció que la aplicación de materia orgánica disuelta líquida favorece de manera positiva la simbiosis micorrízica en sistemas forrajeros, fortaleciendo servicios ecosistémicos esenciales para la sostenibilidad de sistemas agropecuarios y agroforestales, tales como la fertilidad del suelo, la retención de agua, la estabilidad estructural y la resiliencia frente a la variabilidad climática. Estos hallazgos apoyarían el uso de enmiendas orgánicas líquidas como una herramienta viable de biofertilización en el manejo sostenible de praderas, contribuyendo a reducir la

dependencia de fertilizantes minerales y a mejorar la salud del suelo a largo plazo en distintos escenarios agroclimáticos.

**Palabras Clave:** colonización, esporas, biofertilización.

**Keywords**: colonization, spores, biofertilization.

# Influencia del abono orgánico liquido en la interacción de la micorrízica en forrajes bajo dos condiciones climáticas.

# Influence of liquid organic fertilizer on mycorrhizal interaction in forage crops under two climatic conditions.

Zarith V. Giraldo Ángel [1],

[1] Estudiante del programa Ingeniería Agroforestal Universidad Internacional del Trópico Americano, Yopal - Casanare

Zarithgiraldo.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

La producción de forrajes es central para la ganadería, pero la degradación de suelos y la baja fertilidad limitan su rendimiento. Los abonos orgánicos líquidos, surgen como alternativa sostenible frente a los fertilizantes químicos, ya que aportan nutrientes y estimulan la actividad biológica del suelo. Dentro de esta actividad biológica destacan los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), que forman asociaciones simbióticas con pastos como Brachiaria y Cynodon, mejorando la captación de agua y nutrientes poco móviles como el fósforo. Esta simbiosis, sin embargo, depende fuertemente de las condiciones climáticas, en especial del régimen hídrico y la temperatura del suelo, factores que regulan la colonización micorrízica y, con ella, la resiliencia de los sistemas ganaderos ante el cambio climático. El objetivo del estudio fue evaluar la influencia del abono orgánico líquido en la interacción micorrízica en forrajes bajo dos condiciones climáticas contrastantes (frío y cálido), determinando la colonización radical, el número de esporas en la rizosfera y su correlación bajo ambos climas. El estudio se desarrolló en dos localidades: la Granja San Isidro Labrador (Soracá, Boyacá), representando clima frío con pasto kikuyo, y la Finca La Vorágine (Yopal, Casanare), representando clima cálido con pasto Brachiaria. En cada sitio se establecieron seis parcelas de 12 m², bajo dos tratamientos con tres repeticiones cada uno: un testigo sin abono (T0) y un tratamiento con abono orgánico líquido (T2). A los 30 días se recolectaron muestras de suelo y forraje. La colonización micorrízica se determinó mediante aclaramiento con KOH, tinción con azul de tripano y observación microscópica bajo la técnica de intersección de campos. Las esporas se extrajeron por tamizado húmedo y centrifugación en sacarosa, cuantificándose por 100 g de suelo seco. Se presento que las parcelas tratadas con abono orgánico líquido (T2) muestraron, en ambas condiciones climáticas, un incremento significativo en el porcentaje de colonización micorrízica y en el número de esporas por 100 g de suelo seco respecto al testigo (T0), evidenciando un efecto sinérgico entre la fertilización orgánica y la actividad fúngica. Se observo que el clima cálido de Yopal favorece una mayor densidad esporal y colonización en Brachiaria, dada la disponibilidad hídrica y térmica más estable, mientras que en clima frío la respuesta sería positiva pero más moderada. Estos resultados favorables se traducirían en mayor biomasa aérea y radical, mejor calidad nutricional del forraje y suelos con mayor estabilidad estructural y actividad biológica. La aplicación de abono orgánico líquido potenciaría la simbiosis micorrízica en forrajes bajo distintas condiciones climáticas, fortaleciendo servicios ecosistémicos clave en sistemas agropecuarios y agroforestales, como el ciclaje de nutrientes, la regulación hídrica, la conservación de la biodiversidad edáfica y la

captura de carbono en el suelo. Estos hallazgos respaldan el uso de insumos orgánicos locales como estrategia de manejo sustentable, contribuyendo a la resiliencia climática de los agroecosistemas y a la reducción de la dependencia de fertilizantes químicos, en línea con enfoques agroecológicos y de producción ganadera baja en insumos externos.

**Palabras clave:** rizosfera, biofertilización, sostenibilidad.
**Keywords:** rhizosphere, biofertilization, sustainability.

# Evaluación de propiedades del suelo y el rendimiento del cultivo de Pimiento (*Capsicum annuum* L.) aplicando dosis de biochar inoculado con microorganismos nativos en suelos inceptisoles en Yopal, Casanare.

# Evaluation of soil properties and bell pepper (*Capsicum annuum* L.) crop yield using doses of biochar inoculated with native microorganisms in Inceptisols in Yopal, Casanare.

Abimelec Martinez Garces[1]; Laura M. Guerrero Cáceres[1]

[1]Estudiante de Ingeniería Agroforestal, Casanare, Universidad Internacional del Trópico Americano, Yopal

abimelecmartinez.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

El deterioro de los suelos y su biota en sistemas agrícolas en el trópico es uno de los principales obstáculos de la alta productividad agrícola, por lo que su conservación es primordial para la seguridad alimentaria, el crecimiento económico y al impulso a los medios de vida relacionados con la producción agrícola. Como respuesta a esta problemática se han sugerido alternativas, entre ellas, el uso de Biochar y de microorganismos nativos, donde se argumenta que su utilización tiene resultados positivos en la producción agrícola y en la salud del suelo. Este trabajo evalúa el efecto de la aplicación de dosis de biochar inoculado con microorganismos nativos en suelos inceptisoles sobre las propiedades del suelo y el rendimiento del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*). El estudio parte de un diseño experimental con bloques completamente al azar (DBCA), compuesto por 4 bloques con 5 tratamientos con 4 repeticiones por tratamiento y 9 plantas por repetición, buscando reducir la variabilidad experimental y lograr una comparación justa y precisa entre tratamientos. Los tratamientos empleados están conformados por 1 testigo, 1 tratamiento con solo microorganismos nativos, y 3 tratamientos con diferentes dosificaciones de biochar (5ton/ha, 10ton/ha y 20ton/ha) inoculados con microorganismos nativos. Actualmente, la investigación se encuentra en fase de establecimiento del cultivo, donde se sembraron 180 plántulas de pimiento requeridas en campo que pasaron el proceso de vivero. Los resultados permitirán determinar el efecto de las diferentes dosis de biochar inoculado con microorganismos nativos en el rendimiento de *Capsicum annuum* y una mejora en las propiedades del suelo, a su vez, se prevé que los resultados obtenidos contribuyan en la búsqueda de estrategias sostenibles para la mejora de prácticas agrícolas que tengan como objetivo la optimización de sistemas productivos con enfoques agroecológicos y la recuperación de los suelos. Se estima que el desarrollo de este proyecto de investigación puede generar impactos positivos en múltiples dimensiones, principalmente en los ámbitos sociales, económicos, ambientales y científicos, contribuyendo de forma integral en la mejora de las metodologías de producción agrícola de nuestra región.

**Palabras Clave:** Agroecología, salud del suelo, producción agrícola.

**Keywords:** Agroecology, soil health, agricultural prodution.

# Consorcios microbianos nativos con rizobacterias mejoran la calidad biológica del suelo en fase de vivero: base para la inoculación de *Theobroma cacao* en Sistemas Agroforestales

# Plant growth-promoting rhizobacteria improve soil properties in cacao nurseries in western Boyacá, Colombia: findings from native isolates, nursery phase.

Urrego Murillo Luz Angelica [1], Fiquitiva Meneses, Giancarlo [1]; Torres García, Cristhian Alberto [1], Puerto Bermúdez, María Juliana[1]; Alcántara Cortés, Johan Steven[2] , Higuera Mora, Nubia Carolina[2], Posada Almanza, Raúl Hernando[3].

[1] Estudiantes de ingeniería agroecológica, Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, semillero de investigación Bioprocesos en Agroecosistemas y Sistemas Naturales Intervenidos. [2]Docentes, Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, Grupo de investigación Agroeco y gestión ambiental.
[3] Zenkinoko SAS

Luz.urrego@uniminuto.edu.co

**Resumen**

El desarrollo de bioinsumos microbiológicos exige un enfoque interdisciplinario para garantizar su efectividad edáfica y vegetal en campo. En este estudio se evaluó la selección de microorganismos rizosféricos nativos con potencial biofertilizante y su impacto sobre la actividad enzimática, las propiedades fisicoquímicas del suelo y las variables dasométricas en plántulas de cacao (*Theobroma cacao*) en etapa de vivero, como paso previo a su establecimiento en sistemas agroforestales en Pauna (Boyacá). Se compararon siete tratamientos: dos consorcios nativos integrados por cepas solubilizadoras de fosfato (*Serratia* spp.) y promotoras del crecimiento vegetal (*Pseudomonas* spp.) aplicados en dosis única y seriada; un inoculante comercial (*Azotobacter chroococcum y Pseudomonas fluorescens)*; un fertilizante químico de síntesis (NPK); y un control sin inocular. La caracterización molecular confirmó una elevada redundancia funcional en los aislamientos nativos, destacando mecanismos de solubilización de fosfatos, colonización rizosférica y fitoestimulación derivados de sus nichos ecológicos compartidos. Los bioinoculantes promovieron un incremento en la actividad celulolítica, el carbono orgánico, el nitrógeno total y la materia orgánica del suelo. Por su parte, la fertilización química aumentó el fósforo disponible, el magnesio intercambiable, la humedad higroscópica y la capacidad de intercambio catiónico, pero generó una disminución en el pH edáfico. Los análisis multivariados revelaron que las inoculaciones microbiológicas impulsaron la variabilidad en los parámetros biológicos y orgánicos del suelo, mientras que el fertilizante químico se correlacionó con la relación C/N y el fósforo disponible. Aunque las variables dasométricas en vivero mantuvieron un comportamiento equivalente entre tratamientos a corto plazo, la bioinoculación nativa optimizó la calidad biológica del suelo, consolidándose como una herramienta biotecnológica clave para fortalecer la

nutrición vegetal y la sostenibilidad de los sistemas agroforestales cacaoteros.

**Palabras clave:** Bioinoculantes, rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), interacción microorganismo-suelo-planta, enzimas del suelo, Theobroma cacao, sistemas agroforestales.

**Keywords:** Bioinoculants, Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR), Microorganism-soil-plant interaction, Soil enzymes, Theobroma cacao, Agroforestry systems.

# Evaluación de tres dispositivos para la detección temprana del potencial de promoción del crecimiento vegetal de bacterias del suelo en tomate

# Evaluation of three devices for early detection of the plant growth-promoting potential of soil bacteria in tomato

Johan A. Villa Polanco [1], Maryeimy Varón-López [2], y Jairo-Mora Delgado[3]

[1]Joven investigador, Grupo de investigación en Sistemas Agroforestales Pecuarios, Universidad del Tolima; [2]Profesora asistente, departamento de Biología, Universidad del Tolima; [3]Profesor Titular, Departamento de Producción Pecuaria, Universidad del Tolima.

Javillap@ut.edu.co

**Resumen**

Resulta fundamental disponer de metodologías confiables y eficientes que permitan caracterizar de manera precisa y rápida los efectos de microorganismos promotores sobre parámetros de crecimiento y desarrollo vegetal, especialmente aquellos relacionados con la arquitectura y exploración del sistema radical, donde pueden manifestarse respuestas de gran relevancia para la interacción microorganismo-planta. La implementación de estrategias metodológicas que permitan evaluar estos efectos de forma integral y no invasiva acelera y optimiza la identificación temprana de microorganismos con potencial de aplicación en agricultura sostenible. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar la capacidad de tres dispositivos: columnar, materas y rizotrones, para detectar de manera rápida y no invasiva los efectos de bacterias del suelo sobre el crecimiento aéreo y radicular de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) en vivero, relacionando las respuestas observadas con las actividades de promoción del crecimiento caracterizadas *in vitro*. Metodologicamente, plántulas de tomate dispuestas en contenedores transparentes, llenados con un sustrato de arena y tierra negra sin fertilizar en proporción 2:1, fueron inoculadas con soluciones bacterianas de *Pseudomonas putida* (T1) y *Paenibacillus taichungensis* (T2), además de un tratamiento control sin inoculación. Durante un mes se evaluaron parámetros de crecimiento aéreo, arquitectura radicular, índices derivados y biomasa, con mediciones en los días 15 y 30 después de la inoculación. Los parámetros aéreos fueron registrados manualmente, mientras que los parámetros de arquitectura radicular fueron medidos mediante ImageJ a partir de imágenes obtenidas de las raíces visibles en las paredes de los sistemas. Los datos fueron analizados mediante las pruebas de Kruskal-Wallis y Dunn, correlaciones de Spearman y análisis de componentes principales (PCA). Se evidenció que el sistema columnar permitió detectar de manera más temprana y consistente las respuestas del desarrollo aéreo, pues desde el día 15, se vió como T1 incrementó la altura, longitud foliar y diámetro del tallo, alcanzando al día 30 valores de 27,25 cm de altura, 5,68 cm de longitud foliar y 22 hojas. Así como la biomasa seca con 0,60 g planta$^{-1}$. Por su parte, el sistema rizotrón mostró mayor sensibilidad para detectar modificaciones tempranas y sostenidas en la arquitectura radicular. Al día 15, T1 presentó una longitud de raíz de 22,3 cm frente a 11,69 cm del control. No obstante, T2 alcanzó 35,25 raíces laterales frente a 14,25 del control, evidenciando una mayor ramificación y exploración lateral al día 30. Complementariamente, el análisis de componentes principales mostró

asociaciones entre las actividades *in vitro* y las respuestas *in vivo*, donde T1 se asoció principalmente con el desarrollo aéreo y la producción de exopolisacáridos, mientras que T2 se relacionó con la solubilización de fósforo, producción de sideróforos y variables de arquitectura radicular. En conclusión, se observó que el sistema metodológico condiciona la capacidad de detectar temprana y diferencialmente las respuestas de promoción del crecimiento vegetal. Pese a esto, los sistemas evaluados, por su bajo costo y facilidad de implementación, destacan como herramientas potenciales para acelerar la selección de microorganismos con aplicación agrícola.

***Palabras Clave:*** Contenedores, inoculantes bacterianos, desarrollo radicular

**Keywords**: Containers, bacterial inoculants, root development.

# Diversidad microbiana de la rizosfera de cacao y aplicación de bioinoculantes nativos en sistemas agroforestales de Pauna, Boyacá

# Microbial diversity of the cocoa rhizosphere and the application of native bioinoculants in agroforestry systems of Pauna, Boyacá

Johan S. Alcántara Cortés[1]; Nubia C. Higuera Mora[1]

[1]Docente, Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO, Bogotá

johan.alcantara@uniminuto.edu.co

**Resumen**

En el occidente de Boyacá, Colombia, el cacao (*Theobroma cacao L.*) se cultiva bajo sistemas agroforestales que regulan el microclima y conservan el suelo. La rizosfera alberga comunidades microbianas cuyo ciclado de nutrientes y su promoción del crecimiento vegetal determinan la productividad y la resiliencia del cultivo; su exploración con secuenciación masiva permite la bioprospección de bioinoculantes autóctonos sin depender de su aislamiento en laboratorio. El objetivo fue explorar la diversidad, la composición y la funcionalidad de las comunidades microbianas de la rizosfera del cacao en fase de vivero y de campo, en respuesta a bioinoculantes nativos y comerciales, a la fertilización química y a la condición de sombra. En el ensayo de vivero (diseño completamente al azar; siete niveles: control, dos consorcios nativos de bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo a dos dosis y frecuencias, inoculante comercial y NPK; cinco réplicas) se aplicó metataxonomía por secuenciación de amplicones 16S (QIIME2). En campo, tras ocho meses de crecimiento en parcelas agroforestales de Pauna, se recolectaron 30 muestras de suelo rizosférico y 30 de suelo circundante bajo el diseño de tratamiento microbiano, sombra (con y sin sombra) y compartimento edáfico; se realizó metataxonomía 16S y metagenómica shotgun (Illumina NovaSeq X Plus, 15 Gb por muestra), con anotación mediante DIAMOND y MEGAN 6. En el vivero, la diversidad alfa (Shannon) varió significativamente entre tratamientos ($p = 0,006$). La aplicación de los consorcios incrementó *Pedomicrobium*, *Bacillus* y *Thermoactinomyces*, y redujo *Streptomyces*, *Saccharomonospora* y *Nocardioides*; asimismo, se observaron diferencias en las funciones inferidas de biofertilización ($p = 0,044$), biorremediación ($p = 0,035$), colonización de plantas ($p = 0,047$) y control de estrés o biocontrol ($p = 0,0047$). En campo, los géneros más abundantes fueron *Pedomicrobium*, *Mycobacterium*, *Pseudolabrys*, *Bacillus* y *Micromonospora*, con mayor enriquecimiento de taxones bajo sombra, asociado a mayores niveles de humedad, y tendencias de incremento de la riqueza y la diversidad ($p = 0,06$ y $p = 0,058$); el consorcio comercial incrementó *Lysobacter* bajo sombra y el consorcio nativo, *Roseisolibacter*, en la condición sin sombra. La metagenómica shotgun, analizada en las parcelas sin sombra, reveló un perfil taxonómico diverso, con predominio de *Pseudonocardia*, *Paenibacillus*, *Pseudolabrys* y *Zavarzinella*, y presencia de taxones implicados en el ciclo del nitrógeno (*Rhizobium*, *Mesorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Nitrososphaera* y *Nitrospira*). El análisis PCoA (Bray-Curtis) explicó 67,4 % de la variación en el componente 1, con agrupamiento de las

muestras por tratamiento, y la anotación funcional (SEED nivel 3) evidenció diferencias entre muestras en rutas de metabolismo del nitrógeno, respuesta al estrés, metabolismo de aminoácidos, utilización de polisacáridos y reparación de ADN. Las comunidades microbianas de la rizosfera del cacao respondieron a los bioinoculantes, a la condición de sombra y al compartimento edáfico; los consorcios nativos y comerciales modificaron la composición del rizomicrobioma y potenciaron funciones de biofertilización y biocontrol, lo que sugiere su potencial para la sostenibilidad y la productividad del cultivo. Los datos de metagenómica permitirán confirmar la base funcional de estas respuestas ecológicas.

**Palabras Clave:** microbioma; metagenómica; agroforestería

**Keywords:** microbiome; metagenomics; agroforestry

# *Escherichia coli* resistente a betalactámicos en cama avícola higienizada: riesgo de dispersión mediante enmiendas en sistemas agroforestales

# Beta-lactam-resistant *Escherichia coli* in sanitized poultry litter: risk of spread through amendments in agroforestry systems

Laura Bravo-Guzmán[1]; Aura Falco[2]; Maryeimy Varón-López[2]

[1]Estudiante del Programa de Biología, Grupo EcoMiB, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia; [2]Docente de planta, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Grupo EcoMiB, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.

ldbravog@ut.edu.co

**Resumen**

**Introducción:** La reutilización de la cama avícola como enmienda orgánica es frecuente en sistemas agrícolas y agroforestales, debido a su aporte de materia orgánica y nutrientes al suelo. Sin embargo, este material puede transportar bacterias y genes de resistencia a antibióticos, incorporarse al sistema suelo-planta y modificar las interacciones microbianas edáficas, con riesgo para la salud agroecosistémica. **Objetivo:** Evaluar el efecto de la densidad de alojamiento sobre la abundancia de *Escherichia coli* resistente a betalactámicos y productora de betalactamasas de espectro extendido en camas avícolas higienizadas, y determinar el riesgo microbiológico de su incorporación en sistemas agroforestales. **Métodos:** Se recolectaron muestras de cama avícola higienizada por apilamiento en seis galpones de pollos de engorde de alta y baja densidad, con 10 y 5 aves/m², respectivamente, en el Cañón del Combeima, Ibagué, Tolima. La abundancia bacteriana y la identificación fenotípica de *E. coli* se determinaron mediante recuento en placa e inoculación en *Plate Count Agar*, *MacConkey*, con y sin ceftriaxona a 4 µg/mL, EMB, TBX y SIM. Los genes blaCTX-M, blaTEM y blaSHV se detectaron mediante PCR. **Resultados:** Tras la higienización, en los sistemas de alta y baja densidad persistieron mesófilos aerobios, $2{,}22 \times 10^7$ y $8{,}27 \times 10^6$ UFC/g; Enterobacterales, $2{,}61 \times 10^6$ y $5{,}21 \times 10^5$ UFC/g; y Enterobacterales resistentes a ceftriaxona, $3{,}37 \times 10^5$ y $4{,}89 \times 10^2$ UFC/g, respectivamente. Se observaron diferencias significativas en los dos últimos grupos, con menores recuentos en la baja densidad. El 88,2 % de los aislados presentó *blaCTX-M* y el 70,6 % presentó conjuntamente *blaTEM*, sin agrupamiento por densidad, lo que sugiere amplia diseminación de estos genes en las camas tratadas. **Conclusiones:** Aunque la higienización por apilamiento en baja densidad reduce la carga bacteriana, no elimina los genes de resistencia asociados a betalactamasas de espectro extendido. Por tanto, la cama avícola higienizada convencionalmente no puede considerarse inocua; su reincorporación como enmienda orgánica representa una vía de entrada de bacterias resistentes y elementos genéticos al microbioma del suelo. Se requiere fortalecer la vigilancia microbiológica antes de su uso en sistemas agroforestales.

**Palabras clave:** bioseguridad, ceftriaxona, microbioma.

**Keywords:** biosecurity, ceftriaxone, microbiome.

# MESA 5
# Agroecología y sociedad
# Coordinador: Dr. Mario Javier Gómez

## De la parcela al paisaje: biodiversidad multiescala en sistemas agroforestales de cacao

## From plot to landscape: multiscale biodiversity in cocoa agroforestry systems

Nubia Carolina Higuera-Mora[1,2], Neidy Lorena Clavijo Ponce[3], Raúl Hernando Posada Almanza[4], Tomas Enrique León-Sicard[5], Lilia Lisset Roa-Fuentes[2]

[1] Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO, Boyacá, Colombia; [2] Departamento de Ecología y Territorio, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C., Colombia; [3] Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C., Colombia; [4] [afiliación por confirmar]; [5] Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia

nhiguera@uniminuto.edu

**Resumen**

La biodiversidad es un pilar de la sostenibilidad agrícola, pues sostiene servicios ecosistémicos esenciales para la productividad y la resiliencia de los agroecosistemas. Sin embargo, la relación entre la estructura interna de los sistemas agroforestales de cacao (SAF), la biodiversidad vegetal y la configuración del paisaje circundante permanece poco comprendida en regiones tropicales, lo que limita el diseño de estrategias que concilien conservación y productividad. En el occidente de Boyacá, Colombia, el cacao se cultiva bajo SAF que combinan funcionalidad ecológica y beneficios socioculturales, aunque su producción suele mantenerse por debajo del promedio nacional. Se evaluaron 32 sistemas agroforestales de cacao en los municipios de Pauna y Coper (Boyacá, Colombia) desde una perspectiva multiescala, parcela, finca y paisaje, para analizar cómo se relacionan la biodiversidad vegetal, la Estructura Agroecológica Principal (EAP) y la fragmentación del paisaje, y su asociación con el desempeño productivo del cacao y otras variables. En cada finca se estableció una parcela de 900 m² para caracterizar la composición florística, la riqueza de especies y el índice de diversidad de Shannon-Weaver de los árboles de sombra. A escala de finca se calculó la EAP mediante entrevistas semiestructuradas mediante un sistema de puntuación de cero a diez que integra cinco indicadores ecológicos y cinco socioculturales. A escala de paisaje se definió un buffer alrededor de cada finca siguiendo la metodología de Leon Sicard 2021 para calcular índices de fragmentación (PLAND, TCA, CPLAND, CORE_MN, NP y PROX_MN). Las relaciones entre escalas se evaluaron mediante pruebas de Mantel, análisis de componentes principales (ACP) y el estadístico I de Moran para autocorrelación espacial. El 59% de las fincas presentó una EAP moderadamente desarrollada, con una conectividad paisajística heterogénea (CMELS = 6). Las fincas se agruparon en cinco clústeres según su diversidad y estructura interna, sin asociación significativa con la estructura del paisaje circundante (prueba de Mantel: r = -0,1683; p = 0,963). Se encontró una relación

negativa entre la conservación del paisaje y la biodiversidad del cultivo, con las fincas de mayor riqueza de especies ubicadas en paisajes menos fragmentados. El ACP explicó el 65,5% de la varianza y evidenció una asociación positiva entre la conservación del paisaje (CORE_MN), la producción de cacao y el desarrollo de la EAP. Pese a la conectividad moderada favorable para la biodiversidad, el rendimiento del cacao (0,32-0,36 t $ha^{-1}$ $año^{-1}$) se mantuvo por debajo del promedio nacional (0,59 t $ha^{-1}$ $año^{-1}$).Los resultados evidencian que la biodiversidad de los SAF de cacao responde a procesos que operan simultáneamente en la parcela, la finca y el paisaje, sin una relación directa entre las características internas de las fincas y su entorno paisajístico. Es necesario integrar indicadores de finca y de paisaje para orientar estrategias de manejo de sombra, colaboración con productores y mecanismos de compensación que fortalezcan la biodiversidad sin comprometer la productividad del cacao y la sostenibilidad del sistema.

**Palabras Clave:** fragmentación del paisaje, Estructura Agroecológica Principal, conectividad ecológica
**Keywords:** landscape fragmentation, Main Agroecological Structure, ecological connectivity

# Manejo agroecológico del suelo para fortalecer la sostenibilidad del cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) en San Luis de Palenque, Casanare

# Agroecologicial soil management to strengthen the sustainability of cacao (*Theobroma cacao L.*) cultivation in San Luis de Palenque, Casanare

Deisy Yanet Robles Ortiz[1]; Yenny Astrid Barahona Pico[1]; Omar Adrián Alarcón Tumay[2]

[1]Profesor provisional, Departamento de Ciencias Básicas Transversales, Universidad Internacional del Trópico Americano Unitrópico, Yopal; [2]Estudiante de Ingeniería Agroforestal, Universidad Internacional del Trópico Americano Unitrópico, Yopal

deisyrobles@unitropico.edu.co

**Resumen**

La sostenibilidad de los sistemas productivos de cacao (*Theobroma cacao L.*) está estrechamente relacionada con la salud del suelo, dado su papel fundamental en la disponibilidad de nutrientes, la productividad del cultivo y la calidad del grano. En la Orinoquía colombiana, las condiciones edáficas y la variabilidad climática cada vez más marcada plantean un desafío constante a quienes buscan producir de manera sostenible, lo que exige estrategias de manejo capaces de mejorar la fertilidad del suelo y reducir la dependencia de insumos externos. Con este propósito, el presente estudio se enfocó en fortalecer la sostenibilidad de una unidad productiva de cacao en el municipio de San Luis de Palenque (Casanare), a través de la implementación de prácticas agroecológicas para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, en el marco del proyecto de investigación "Evaluación de variables ambientales en la producción del grano de cacao (*T. cacao L.*) en San Luis de Palenque, Casanare". La caracterización fisicoquímica inicial del suelo permitió identificar retos importantes, como un pH entre 5,46 y 5,96, contenidos bajos de materia orgánica (1,02–2,41 %), una capacidad de intercambio catiónico efectiva de apenas 3,27 a 4,30 cmol(+)/kg, una notable variabilidad en la disponibilidad de nutrientes y la saturación de bases. Esta realidad fue el punto de partida para diseñar un plan de manejo agroecológico ajustado a las necesidades reales del predio. A partir de este diagnóstico, se implementó una intervención integral que incluyó capacitación y acompañamiento técnico constante al productor. Esto permitió elaborar y aplicar abonos orgánicos y bioles, incorporar materia orgánica, manejar arvenses bajo criterios agroecológicos, proporcionar recomendaciones agronómicas y agroclimáticas. El propósito de estas acciones fue mejorar las propiedades del suelo, dinamizar su actividad biológica y favorecer un aprovechamiento eficiente de los nutrientes disponibles. Los resultados preliminares evidencian un proceso gradual de recuperación de la calidad del suelo, reflejado en una tendencia al mejoramiento del pH y de las condiciones de fertilidad, lo que se traduce en mayor disponibilidad de nutrientes para el cultivo. Se espera que el incremento sostenido de la materia orgánica siga fortaleciendo la actividad biológica y aportando estabilidad al sistema edáfico. Estas mejoras no solo aumentan la eficiencia nutricional del cultivo, sino que abren la posibilidad de disminuir la biodisponibilidad de elementos potencialmente tóxicos como el cadmio, cuya dinámica en el suelo está relacionada con el pH, la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico. Los hallazgos preliminares respaldan el uso del manejo agroecológico del suelo como estrategia para fortalecer la sostenibilidad de

los sistemas cacaoteros, al mejorar la fertilidad, promover una producción más resiliente y sentar bases técnicas sólidas para incrementar la productividad y la calidad del grano. El monitoreo continuo permitirá, en adelante, cuantificar con mayor precisión el efecto de estas prácticas sobre los indicadores de fertilidad, el rendimiento del cultivo y la disponibilidad de elementos tóxicos en el sistema suelo-planta a mediano plazo.

**Palabras Clave:** fertilidad del suelo, materia orgánica y disponibilidad de nutrientes.

**Keywords:** Soil fertility, Organic matter, Nutrient availability

# Cultura del agua desde la perspectiva educativa: caso IEM morasurco, municipio de Pasto, Nariño, Colombia.
# Water culture from an educational perspective: the case of IEM Morasurco, in the municipality of Pasto, Nariño, Colombia

Miriam Guapucal Cuasanchir[1]; Karen L. Benavides Córdoba[2] y Luz C. Muñoz Ortiz [2]
[1]Profesora del Programa de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Nariño;
[2]Estudiente del programa de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Nariño, Pasto

miriamgc@udenar.edu.co

**Resumen**

El agua es un recurso indispensable para la vida y el equilibrio de los ecosistemas; sin embargo, enfrenta problemáticas relacionadas con el uso inadecuado, el desperdicio y la contaminación, agravadas por el crecimiento poblacional y el cambio climático. En Colombia, a pesar de la rica oferta hídrica, persisten dificultades asociadas con la valoración y el uso responsable del recurso. En este contexto, las instituciones educativas representan escenarios estratégicos para fortalecer la cultura del agua mediante procesos de educación ambiental que promueven conocimientos, actitudes y prácticas orientadas a su conservación. La Institución Educativa Municipal (IEM) Morasurco se ha constituido en un espacio pertinente para analizar cómo la comunidad educativa percibe, valora y gestiona el recurso hídrico desde el contexto educativo y territorial. Frente a lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo promover estrategias pedagógicas y de sensibilización que fortalezcan la valoración y el uso responsable del agua en la IEM Morasurco, municipio de Pasto, para ello se utilizó una metodología con un enfoque etnográfico integrando técnicas cualitativas y cuantitativas. En ello participaron estudiantes, docentes y padres de familia, quienes, a partir de entrevistas, encuestas semiestructuradas y talleres, brindaron su apoyo, todo lo anterior estuvo articulado al PRAE. Cómo resultados principales de la investigación, se resaltan la articulación de la comunidad educativa de la IEM Morasurco, en actividades como el reconocimiento del territorio y de las fuentes hídricas, destacando que la IEM se encuentra en el corredor paramuno Morasurco-Chimayoy, donde nacen diferentes fuentes de agua que suministra a cerca de 2000 habitantes de 10 veredas que conforma el corregimiento; de ahí el papel importante que juega la IEM en la educación para el cuidado del agua. Frente a la percepción y el valor que le dan al agua, tanto estudiantes, padres de familia y docentes manifiestan la importancia de este recurso para la vida de los seres vivos, la salud y el bienestar de toda la comunidad, y su valor lo asocian a los procesos culturales y simbólicos que integran relatos comunitarios y saberes locales; así mismo trasciende a la necesidad de proteger, cuidad y hacer un uso adecuado de la misma; y se mantiene activa la opinión de defender el agua y los ecosistemas para un futuro. Desde la perspectiva educativa, puede consolidarse al agua como un eje vital y pedagógico que transforma conciencia y responsabilidad frente al uso y manejo eficiente del agua, generando un cambio en el significado para la vida, la identidad cultural de las comunidades y fortalecer estrategias pedagógicas participativas en la gestión comunitaria del agua. Finalmente, frente a los problemas y desafíos que enfrenta la IEM Morasurco en relación al cuidado y manejo del agua, en los diversos talleres proponen acciones orientadas a su conservación, fortalecimiento de prácticas cotidianas relacionadas con el ahorro y uso responsable del agua, lo anterior se propone reforzar a partir de estrategias pedagógicas permanentes articuladas al PRAE

de la institución. En conclusión, la educación se convierte en un eje formativo y fundamental para fomentar una cultura del agua que contribuya a la formación de ciudadanos comprometidos con la gestión sostenible del recurso hídrico.

**Palabras clave**: percepción ambiental; gestión comunitaria del agua, educación ambiental

**Keywords:** environmental perception; community water management; environmental education

# Fortalecimiento participativo de huertos caseros para la promoción agroforestal en Catambuco (Pasto, Nariño)

## Home garden participatory encouragement for agroforestry boosting in Catambuco (Pasto, Nariño)

Ángela A. Molina Moreno[1], María C. Sánchez Molina[2], Cristina Luna Cabrera[3], Miriam R. Guapucal[4]

[1]Docente, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto; [2]Ingeniera Agroforestal, Universidad de Nariño, Pasto; [3]Docente, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto; [4]Docente, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño

angela.molina@udenar.edu.co

**Resumen**

Los huertos caseros son sistemas de agricultura familiar donde convergen prácticas tradicionales, diversidad vegetal y producción de alimentos; su fortalecimiento puede favorecer la seguridad alimentaria, la conservación de la agrobiodiversidad y procesos de intercambio de saberes y extensión rural orientados a la promoción agroforestal. El objetivo fue analizar las características socioeconómicas, productivas y ecológicas de los huertos caseros del corregimiento de Catambuco (Pasto, Nariño) e identificar elementos que sustenten su fortalecimiento participativo como estrategia educativa para la promoción agroforestal. Se desarrolló un estudio mixto, descriptivo-analítico, con orientación de Investigación Acción Participativa, en 23 huertos de las veredas La Victoria, Santa María, Cruz de Amarillo y San Antonio de Acuyuyo. Se aplicaron encuestas y entrevistas semiestructuradas, recorridos de campo e inventarios florísticos; la información se analizó mediante estadística descriptiva y los índices de Shannon-Wiener, dominancia de Simpson e índice de valor de importancia (IVI). El inventario registró 55 especies de 28 familias botánicas, con un índice de Shannon de 3,02 y una dominancia de Simpson de 0,093, lo que indica alta diversidad y baja dominancia; las especies con mayor IVI fueron *Brassica oleracea var. Capitata* (56,89), *Solanum tuberosum* (39,41%) *y Allium cepa* (38,77%). La relación beneficio-costo fue 1,98, valorando a precios locales la producción destinada al autoconsumo. Se identificó una participación central de las mujeres en el manejo, la conservación de semillas y la transmisión de conocimientos, junto con fortalezas en el uso de abonos orgánicos y asociación de cultivos, y necesidades de mayor planificación, asistencia técnica y participación juvenil. A partir del diagnóstico se formuló un diseño agroecológico y, mediante talleres participativos, se implementaron tres huertos piloto y se entregaron 23 kits productivos. Los huertos caseros de Catambuco constituyen espacios pertinentes para articular producción, conservación y fortalecimiento de capacidades rurales, y ofrecen una base para procesos educativos y de extensión que promuevan prácticas agroforestales y el intercambio intergeneracional de saberes.

**Palabras clave:** agricultura familiar; agrobiodiversidad; extensión rural.
**Keywords:** family farming; agrobiodiversity; rural extension.

# Sistemas agroforestales tradicionales: saberes locales y su aporte a la seguridad alimentaria en la vereda Chilví, Tumaco (Nariño, Colombia)

# Traditional agroforestry systems: local knowledge and its contribution to food security in the Chilví village, Tumaco (Nariño, Colombia)

Gloria Cristina Luna Cabrera[1], Nereida Isabel Cabezas Bonilla[2], Angela Andrea Molina Moreno[1]

[1]Docente a tiempo completo, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto; [2]Ingeniera Agroforestal, Universidad de Nariño, Pasto

cristinalunac@udenar.edu.co

**Resumen**

Los huertos caseros en zonas tropicales representan sistemas agroforestales tradicionales que articulan biodiversidad, saberes locales y seguridad alimentaria. En la vereda Chilví, municipio de Tumaco, estos sistemas enfrentan riesgos por el abandono de prácticas tradicionales, el conflicto armado y la erosión genética, afectando la biodiversidad y los medios de vida locales. En este contexto, las huertas caseras emergen no solo como espacios de producción, sino también como escenarios pedagógicos donde se transmiten conocimientos, se promueve la conservación de especies y se fortalece la resiliencia comunitaria frente a los efectos del cambio climático. La investigación tuvo como objetivo caracterizar las huertas caseras de la vereda Chilví desde sus componentes socioeconómicos, ecológicos y productivos, y proponer estrategias para su fortalecimiento, enmarcadas en la conservación de la biodiversidad y la educación ambiental, para lo cual se seleccionaron 12 familias bajo criterios de participación comunitaria. Se aplicaron encuestas semiestructuradas, talleres participativos y recorridos de campo para realizar un inventario florístico y análisis socioeconómico. Se calcularon los índices de Simpson y Shannon para determinar la diversidad, además del Índice de Valor de Importancia (IVI) para especies arbóreas, arbustivas y palmas. Se diseñó una propuesta de huerto agroforestal mixto bajo un análisis DAFO. Los huertos presentan una alta diversidad con 56 especies vegetales y 423 individuos entre árboles, arbustos y palmas. Se evidenció un predominio de especies de uso alimenticio (58,93%) y medicinal (28,57%), como *Musa paradisiaca, Eryngium foetidum* y *Gliricidia sepium*. El IVI destacó especies nativas con múltiples funciones ecosistémicas. A nivel socioeconómico, los huertos son manejados principalmente por mujeres adultas y generan una relación beneficio/costo de 1,91, reflejando su viabilidad económica. La mayoría de las familias son propietarias de sus predios, lo cual favorece la permanencia de estos sistemas. Los huertos caseros constituyen una estrategia efectiva para conservar la biodiversidad local, fomentar la soberanía alimentaria y enfrentar los efectos del cambio climático. Además, se convierten en escenarios pedagógicos para la transmisión de conocimientos tradicionales y prácticas sostenibles. Su fortalecimiento requiere integrar acciones de educación ambiental comunitaria, gestión del conocimiento y políticas públicas diferenciales que reconozcan el valor de la agrobiodiversidad en contextos rurales del Pacífico colombiano.

**Palabras clave:** huerta casera, biodiversidad, educación ambiental, seguridad alimentaria.

**Keywords:** home garden, biodiversity, environmental education, food security.

# Aplicación de metodologías híbridas de gestión de proyectos en sistemas agroforestales con enfoque turístico: una propuesta para el Cauca

# Application of Hybrid Project Management Methodologies in Agroforestry Systems with a Tourism-Oriented Approach: A Proposal for Cauca

Ornaldo Solarte Pechené [1]

[1]Estudiante de Maestría en gerencia de proyectos, Cauca, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Popayán

orsope.777@gmail.com

**Resumen**

Introducción. Los sistemas agroforestales representan una alternativa para enfrentar la degradación ambiental, fortalecer la seguridad alimentaria y diversificar los ingresos de las comunidades rurales. Sin embargo, muchos proyectos presentan dificultades durante su ejecución como consecuencia de la falta de planificación, coordinación entre actores y adaptación a condiciones cambiantes del territorio. Frente a este escenario, las metodologías híbridas de gestión de proyectos constituyen una alternativa para integrar procesos de planificación estructurada con mecanismos de implementación adaptativos que favorezcan el logro de resultados proyectados. Objetivo. Presentar de una metodología híbrida para el diseño e implementación de un sistema agroforestal con enfoque turístico en zona rural del municipio de Silvia Cauca, integrando enfoques predictivos y ágiles de gestión de proyectos. Métodos. La investigación se desarrolla mediante un enfoque mixto de carácter aplicado y proyectivo, organizado en cuatro fases metodológicas. La primera fase utiliza los lineamientos establecidos en la guia PMBOK para elaborar el diagnóstico socioambiental, la identificación de actores estratégicos y el análisis de riesgos. La segunda fase adopta la metodología PRINCE2 a fin de estructurar el caso de negocio, el diseño técnico del sistema agroforestal y los planes de gestión de calidad y riesgos. Posteriormente, la fase tres correspondiente a la implementación del piloto mediante lineamientos Scrum, empleando ciclos iterativos para el establecimiento progresivo del sistema agroforestal y los componentes turísticos. Finalmente, la cuarta etapa desarrollar un sistema de seguimiento basado en indicadores clave de desempeño (KPI) y un tablero de control digital para evaluar los impactos ambientales, sociales y económicos, complementado con un manual metodológico que facilite la replicabilidad del modelo en otros territorios. Resultados. La integración de PMBOK, PRINCE2 y Scrum permite estructurar una metodología híbrida secuencial y flexible que articula el diagnóstico territorial, el diseño técnico, la implementación gradual y la evaluación continua del sistema agroforestal. Entre los principales productos esperados se encuentra el diagnóstico socioambiental, el diseño del sistema agroforestal con enfoque turístico, el Product Backlog para la implementación del piloto, un conjunto de indicadores de desempeño, un dashboard para el seguimiento de impactos y un manual de implementación orientado a la transferencia metodológica. La propuesta fortalece la participación comunitaria, incorpora el conocimiento ancestral en la toma de decisiones y mejora la capacidad de adaptación frente a riesgos ambientales y operativos del proyecto. Conclusiones. La aplicación de metodologías híbridas de gestión de proyectos constituye una alternativa innovadora para el desarrollo de sistemas agroforestales en territorios rurales al combinar herramientas de planificación, gobernanza y adaptación continua. El enfoque propuesto facilita la gestión integral del proyecto, promueve la apropiación comunitaria y genera un modelo metodológico replicable para iniciativas agroforestales con enfoque turístico en otros contextos rurales.

**Palabras Clave:** Agroforestería, Adaptación, Diseño

**Keywords:** Agroforestry, Adaptation, Design

# Del diagnóstico predial a la toma de decisiones: estrategia participativa para el fortalecimiento de sistemas de producción bovina de leche. Proyecto piloto realizado en Yopal, Casanare

# From farm-level diagnosis to decision-making: a participatory strategy for strengthening dairy cattle production systems. Pilot project conducted in Yopal, Casanare.

Keiner Cárdenas[1]; Elizabeth Bravo[1]

[1]Estudiante de Ingeniería Agroforestal, Universidad Internacional del Trópico Americano UNITRÓPICO, Yopal

keinercardenas.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

**Introducción:** Los sistemas de producción bovina de la Orinoquia colombiana requieren estrategias que permitan abordar integralmente aspectos productivos, de manejo animal, bienestar, sanidad y sostenibilidad ambiental. En este contexto, el diagnóstico predial participativo constituye una herramienta para comprender el funcionamiento del sistema mediante la articulación del conocimiento del productor con criterios técnicos, facilitando la identificación de problemáticas, sus causas y alternativas de mejora contextualizadas. **Objetivo:** Este trabajo presenta los avances de un proyecto piloto orientado a desarrollar una estrategia participativa de diagnóstico y planificación predial con potencial de adaptación y réplica en otros sistemas de producción pecuaria de la Orinoquia. **Métodos:** El proyecto se desarrolló en una finca de vocación bovina lechera de la vereda El Charte, municipio de Yopal, Casanare, con el propósito de analizar el sistema productivo y formular propuestas de mejora orientadas al fortalecimiento productivo, el bienestar animal y la sostenibilidad. La estrategia se estructuró en cinco fases: fundamentación y preparación; caracterización y diagnóstico en campo; análisis y priorización de problemáticas; formulación participativa de propuestas; y socialización y retroalimentación. Se integraron encuestas, entrevista semiestructurada, observación directa, Diagnóstico Rural Participativo (DRP), Planificación Predial Participativa (PPP), mapeo del predio, análisis de indicadores productivos, discusión técnica, diálogo de saberes y co-diseño con el productor. Esta articulación permitió analizar integralmente aspectos de alimentación, sanidad, infraestructura, bienestar animal, productividad y condiciones ambientales. **Resultados:** Los resultados obtenidos permitieron caracterizar un sistema bovino de leche de tipo semi-intensivo, con pastoreo rotacional y una producción aproximada de 160 L de leche/día. Entre las fortalezas se identificaron la disponibilidad de infraestructura para el manejo animal, prácticas sanitarias implementadas, registros productivos y sanitarios y presencia de árboles nativos dentro del sistema. El análisis permitió identificar oportunidades de mejora relacionadas con la protección de fuentes hídricas, el fortalecimiento de registros, la disponibilidad de reservas forrajeras, infraestructura y manejo. A partir de la priorización participativa se formularon alternativas orientadas al fortalecimiento integral del sistema, entre ellas la incorporación de arreglos silvopastoriles mediante árboles y arbustos forrajeros en los potreros existentes, manejo de recursos naturales, alimentación, sanidad y bienestar animal. **Conclusiones:** Los avances del

proyecto muestran que la integración de herramientas participativas, conocimiento del productor y criterios técnicos permite pasar de una caracterización general del predio a una lectura integral de las relaciones entre manejo, producción, bienestar animal, sanidad y condiciones ambientales. El proceso facilitó la identificación y priorización de necesidades y su transformación en acciones concretas de fortalecimiento, evitando abordar los problemas del sistema de manera aislada. En este sentido, el Plan Técnico de Fortalecimiento Predial se configura como una herramienta para organizar, priorizar y orientar las decisiones de manejo del productor.

**Palabras Clave:** Sistemas silvopastoriles, planificación predial participativa, sostenibilidad.

**Keywords:** Silvopastoral systems, participatory farm planning, sustainability.

# Agroforestería en el huerto escolar: avances de una estrategia pedagógica para la educación ambiental en preescolar y primaria

# Agroforestry in the school garden: progress of a pedagogical strategy for environmental education in preschool and primary school

Nini Fernanda León Gómez[1]

[1]Estudiante de Ingeniería Agroforestal, Universidad Internacional del Trópico Americano UNITRÓPICO, Yopal

ninileon.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

La implementación de la agroforestería en huertos escolares constituye una estrategia pedagógica que integra la educación ambiental con experiencias prácticas y sensoriales desde la primera infancia. Este trabajo presenta los avances de un proyecto en ejecución, "Agroforestería en el huerto: una estrategia pedagógica", desarrollado en el Colegio La Esmeralda con estudiantes de preescolar a quinto de primaria, que surgió de la necesidad de recuperar y adecuar un espacio de huerto que inicialmente no contaba con las condiciones necesarias para su aprovechamiento seguro con los niños, lo que limitaba experiencias relacionadas con el cuidado del suelo, la biodiversidad, los microorganismos, los polinizadores y el reconocimiento de las plantas. El proyecto tiene como objetivo fortalecer la agroforestería como una estrategia de interacción académica, social y cultural, promoviendo desde edades tempranas conocimientos, valores y prácticas relacionadas con el cuidado ambiental, el reconocimiento de las plantas y la importancia de la producción de alimentos, orientados hacia la sostenibilidad y la seguridad alimentaria. La investigación se desarrolla bajo un enfoque cualitativo, mediante una metodología participativa de acción, en la que los conceptos trabajados en el aula se verifican y vivencian posteriormente en el huerto escolar, articulando teoría y práctica en un mismo proceso continuo. Bajo un enfoque interdisciplinar, la agroforestería y la educación ambiental se emplean como eje articulador para integrar transversalmente otras áreas del conocimiento: matemáticas, mediante ejercicios de conteo mientras se manipulan semillas y plántulas; lenguaje y comprensión lectora, a través de guías y lecturas cortas; ciencias sociales, relacionando los pisos térmicos de Colombia con la distribución de las plantas; y ciencias naturales, mediante el estudio de la fotosíntesis, la fisiología y la sanidad vegetal. Hasta el momento, los niños han logrado reconocer las principales partes de las plantas y sus funciones y requerimientos de crecimiento, e identificaron diferencias entre especies monocotiledóneas y dicotiledóneas. Han participado activamente en la germinación de semillas: de diecisiete semillas utilizadas, germinó una de frijol, situación que se aprovechó pedagógicamente para explicar los efectos del exceso de agua y la falta de luz sobre el desarrollo vegetal. También han reconocido organismos del suelo y su importancia para la fertilidad y la aireación, fortaleciendo su valoración de la biodiversidad, y han relacionado las características de plantas aromáticas con beneficios para la alimentación y la salud. Las actividades realizadas han sido socializadas en casa por los niños, extendiendo el aprendizaje más allá del aula y fortaleciendo el vínculo entre la escuela y las familias. Estos avances evidencian que la articulación entre teoría y práctica en el huerto escolar facilita la comprensión de conceptos propios de las ciencias agrícolas y ambientales en niños de

primera infancia y básica primaria, y que el enfoque interdisciplinar permite reforzar simultáneamente el aprendizaje disciplinar y el aprendizaje ambiental. El proyecto, aún en desarrollo, ha trascendido el objetivo inicial de implementar un huerto escolar, fortaleciendo vínculos entre estudiantes, docentes y familias, y evidenciando el potencial de la agroforestería como estrategia pedagógica para promover, desde edades tempranas, conocimientos y valores orientados hacia comunidades más sostenibles.

**Palabras clave:** Aprendizaje interdisciplinar, primera infancia, metodología participativa

**Keywords:** Interdisciplinary learning, early childhood, participatory methodology

# Mapeo de actores: Aportes a la gobernanza de la agroforestería en Casanare, Colombia

# Mapping Stakeholders: Contributions to Agroforestry Governance in Casanare, Colombia

Karol Escárraga Arévalo[1], Sandra L. Barrera Fuentes[2]

[1]Universidad Internacional del Trópico Americano. Grupo de Investigación en Agroforestería y sostenibilida; [2]Universidad Internacional del Trópico Americano, Yopal.

sandrabarrera@unitropico.edu.co

**Resumen**

El cambio climático constituye uno de los principales desafíos para la sostenibilidad del sector agropecuario en Casanare, debido al incremento de la temperatura y a la alteración de los patrones de precipitación, fenómenos que favorecen la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad, aumentando la vulnerabilidad de los ecosistemas y las comunidades rurales. En el departamento de Casanare, esta problemática se manifiesta a través de sequías extremas y de la alteración de las temporadas de lluvia, lo que impone desafíos significativos en los sistemas agropecuarios. La agroforestería se ha planteado como una estrategia de adaptación capaz de integrar productividad, conservación ambiental y desarrollo socioeconómico; sin embargo, su consolidación territorial no depende únicamente del número de actores involucrados, sino de la distribución de la capacidad de incidencia entre ellos. El objetivo del estudio fue analizar la red de actores clave vinculados a la agroforestería en Casanare para determinar si dicha capacidad se distribuye de forma equilibrada entre los distintos sectores o se concentra en un grupo reducido de actores. Se empleó un enfoque cualitativo con alcance descriptivo analítico, que integró la metodología de mapeo de actores clave de Geilfus y Tapella con herramientas del análisis de redes de actores, mediante la construcción de un Índice Compuesto de Capacidad de Incidencia que sintetiza el poder institucional, la posición frente a la intervención y la intensidad de cooperación de cada actor. Se identificaron 132 actores vinculados al sector agropecuario departamental, con predominio del componente agrícola con 36,4 %; 48 actores, seguido de instituciones públicas y privadas con 18,9 %, componente pecuario con 16,7 %, sistemas agroforestales con 14,4 %, organizaciones de apoyo con 8,3 % y componente forestal con un 5,3 %. Al priorizar 34 actores clave por su alta incidencia y calcular el ICCI por macrogrupo, el sector comunitario que agrupó el 47,1 % de los actores priorizados y registró el segundo índice promedio más bajo con 2,50 sobre 3,00, por debajo del gubernamental que alcanzó un 2,75 y del académico investigativo con 2,63, evidenciando una brecha entre la representación dentro del grupo priorizado y su capacidad real de incidencia. Se concluye que la agroforestería en Casanare enfrenta una asimetría de gobernanza estructural en donde existe un amplio número de actores dispuestos a participar, pero la capacidad efectiva de incidencia continúa concentrada en un número reducido de entidades, por lo que la consolidación de la estrategia depende de mecanismos que fortalezcan la incidencia de los actores comunitarios específicamente en campo.

**Palabras clave**: Resiliencia climática, gobernanza ambiental, análisis de redes de partes interesadas, clima.

**Keywords:** Climate resilience, environmental governance, stakeholder network analysis, climate.

# Funcionalidad de las abejas nativas sin aguijón (Meliponinos) en sistemas agroforestales: aportes a biodiversidad, polinización y resiliencia socioecológica en el Tolima, Colombia.

# Functionality of Native Stingless Bees (Meliponines) in Agroforestry Systems: Contributions to Biodiversity, Pollination, and Socioecological Resilience in Tolima, Colombia

Helmer C. Duque Álvarez[1]; Jhally A. Sanabria Forero[1]; Mauricio García Arboleda[3]

[1]Estudiante, Instituto de Educación a Distancia (IDEAD), Universidad del Tolima, Ibagué; [3]Profesor asistente, Departamento de Estudios Interdisciplinarios, Instituto de Educación a Distancia (IDEAD), Universidad del Tolima, Ibagué.

mgarciaarm@ut.edu.co

**Resumen**

La pérdida de biodiversidad que afecta la polinización y otras funciones ecosistémicas influye en el deterioro de la diversidad vegetal de los agroecosistemas. Las abejas nativas sin aguijón, conocidas como meliponinos, constituyen un componente funcional de los agroecosistemas intertropicales por su participación en la polinización de especies silvestres y cultivadas, la reproducción vegetal y el mantenimiento de redes ecológicas. En sistemas agroforestales, la diversidad de estratos, la oferta floral temporalmente distribuida y la disponibilidad de sustratos de nidificación pueden favorecer su permanencia, al tiempo que la meliponicultura articula conservación, producción y saberes locales. El objetivo del presente estudio fue analizar la funcionalidad de las abejas nativas sin aguijón o meliponinos en sistemas agroforestales, enfatizando sus aportes a la conservación biológica, polinización y resiliencia socioecológica de territorios rurales intertropicales en el Tolima. Se realizó un estudio de caso en cinco municipios y soportado en la memoria biocultural y revisión científica sobre ecología de meliponinos, funciones de polinización, manejo de polinizadores, agroforestería intertropical y saberes locales. La información se organizó en cuatro dimensiones analíticas: diversidad y hábitat; función polinizadora; estabilidad del agroecosistema; y vínculos socioproductivos asociados al manejo de abejas nativas. A partir de estas categorías se identificaron relaciones funcionales, factores de manejo favorables y principales presiones sobre las poblaciones. La síntesis muestra que los meliponinos contribuyen a la reproducción de plantas silvestres y cultivadas, favorecen la conectividad funcional entre componentes del paisaje y participan en procesos asociados con la regeneración y diversidad vegetal. Los arreglos agroforestales diversificados ofrecen recursos de néctar y polen, refugio, condiciones microclimáticas y sitios de nidificación que pueden amortiguar la vulnerabilidad de las colmenas frente a la simplificación del paisaje. Su presencia también fortalece funciones productivas al complementar la polinización de cultivos y ampliar la multifuncionalidad del predio. En la dimensión social, la meliponicultura aporta a la diversificación de medios de vida, la soberanía alimentaria, la educación ambiental y la apropiación de conocimientos bioculturales. Sin embargo, estos beneficios dependen de prácticas de manejo compatibles con la conservación, particularmente la reducción del riesgo por plaguicidas entro otros agrotóxicos, manejos

agroecológicos como la protección de coberturas vegetales entre otros, la conectividad ecológica y el manejo responsable de colmenas. Las abejas nativas sin aguijón deben entenderse no solo como organismos polinizadores, sino como componentes estratégicos de la funcionalidad agroecosistémica. Su integración deliberada en el diseño y manejo de sistemas agroforestales fortalece la biodiversidad, la productividad y la capacidad adaptativa, articulando conservación y bienestar rural. La incorporación de hábitats favorables para los meliponinos y el fortalecimiento comunitario de la meliponicultura constituyen estrategias pertinentes para avanzar hacia agroecosistemas intertropicales más diversos, funcionales y resilientes frente al cambio climático.

**Palabras clave:** meliponicultura; conectividad ecológica; soberanía alimentaria.

**Keywords:** Meliponiculture; ecological connectivity; food sovereignty.

# *Transformación de la Palma Milpesos (Oenocarpus bataua). por las mujeres de la Asociación Palma Mujer del Pacífico en el Bajo Calima*

# *Processing of the Milpesos Palm (Oenocarpus bataua). by women from the Palma Mujer del Pacífico Association in Bajo Calima.*

Cristhian Rodolfo Rojas Cuevas[1] y Jairo Mora-Delgado[2]

[1] Estudiante de la Maestría en Desarrollo Rural, Universidad del Tolima Ibagué; [2] Profesor titular Departamento Producción Animal, Universidad del Tolima, Ibagué

crrojasc@ut.edu.co

**Resumen**

El Chocó biogeográfico en Colombia constituye una región de alto valor ecosistémico donde los pobladores de estos territorios basan sus dinámicas económicas en la extracción directa de materias primas de los bosques y los ríos. Particularmente la región del bajo Calima además de contar con una riqueza biológica significativa, es un territorio que permanece en conflicto por la violencia ocasionada por grupos al margen de la ley en cuanto a la disputa por el control de la ruta fluvial del rio Calima y el rio San Juan ya que es un trayecto directo al océano pacifico. En medio de todo este panorama desolador surgen iniciativas comunitarias desde la asociatividad para desarrollar medios de sustento que posibiliten mejores condiciones para sus pobladores, ejemplo de esto, es la Asociación Palma Mujer del Pacífico, la cual surge de la necesidad de empleo de las mujeres de la comunidad de las Brisas y su cercanía con los procesos académicos de la Universidad del Tolima, lo cual facilitó la incursión en una nueva forma de transformación del producto forestal no maderable de la palma milpesos (*Oenocarpus bataua).* El **objetivo** de este estudio es sistematizar los conocimientos ancestrales de las mujeres y las formas de extracción de los productos de la palma en el bajo Calima. **Resultados** preliminares dan cuenta de que se ha logrado establecer nuevas maneras de aprovechamiento para que este proceso sea sostenible a través del tiempo y a su vez, un nuevo uso para estos productos; esto, se ha logrado a través de capacitación técnica vinculada a la Universidad del Tolima Hoy en día se elaboran productos cosméticos para la venta al público, ejercicio de empoderamiento y apropiación de las practicas, los productos y la gestión. Así, la asociación está en el proceso de propagación y establecimiento de plántulas en el vivero comunitario como un eslabón técnico indispensable para dar continuidad al proceso de producción, favoreciendo la restauración ecológica, que, por los métodos anteriormente usados para el aprovechamiento de la misma, había sido altamente afectada la población de la palma. Se concluye que la trasformación de la palma Mil pesos en el territorio del Consejo Comunitario del Bajo Calima, es el resultado de procesos de organización, y trabajo comunitario, basados en saberes y prácticas ancestrales combinados con técnicas modernas compartidas desde la racionalidad académica de la Universidad del Tolima.

**Palabras Clave:** transformación, sostenible, asociación, productos forestales no maderables.

**Keywords:** transformation, sustainable, partnership, non-timber forest products

# Relación entre el sistema de producción de cacao (*Theobroma Cacao L.*) y medios de vida de familias rurales del municipio de Garzón, Huila

# Relationship between the cocoa (*Theobroma cacao* L.) production system and the livelihoods of rural families in the municipality of Garzón, Huila

David Savedra Mora[1], Luis C. Becerra-Ordoñez[2], Amara T. Contreras-Bastidas[3], Jorge F. Navia-Estrada[4]

[1]Docente de tiempo completo, Corporación Universitaria del Huila CORHUILA, Grupo de Investigación Efecto Ambiental, Huila; [2]Facultad Ciencia Administración y Economía, Maestría en Sostenible y Medio Ambiental, Universidad de Manizales, Manizales; [3]Corporación Universitaria del Huila CORHUILA. Ing. Agroecólogo, Neiva; [4]Docente titular de la Facultad de Ciencias Agrícola Universidad de Nariño, Pasto

Saavedra.deivi60@gmail.com

**Resumen**

El cacao es una de las principales fuentes de sustento para las familias rurales, por lo cual el **objetivo** fue comprender las estrategias de subsistencia asociadas a su cultivo y al bienestar familiar para abordar los cambios socioeconómicos y ambientales en la región. La investigación se llevó a cabo en el municipio de Garzón Huila, donde se identifican tres sistemas de producción que se han desarrollado en función de dinámicas históricas, institucionales y ecológicas: SRN (sistemas resilientes basados en recursos naturales), TTS (territorios en transición socioeconómica) y CHE (comunidades con capital humano emergente). Resultados preliminares encontraron diferentes dinámicas de capital y capacidades. Los sistemas SRN se caracterizan por una fuerte cohesión comunitaria, prácticas agroecológicas y conservación ambiental. En los TTS, se evidenciaron procesos de modernización productiva, impulsados por la infraestructura, el financiamiento y la coordinación institucional, con presión sobre el capital natural. En los sistemas CHE, el capital humano y cultural actúa como motor de la innovación social y el aprendizaje colectivo, con limitaciones estructurales persistentes en el acceso a servicios técnicos, conectividad y mercados. La resiliencia rural no se supervisa como un atributo aislado, sino más bien como un proceso social que depende de las interacciones entre capacidades, aprendizaje y recursos, como lo indica el índice de conocimiento (CKI). Se concluye, que este es un indicador clave para orientar diferentes políticas de acuerdo con las trayectorias de cada sistema.

**Palabras Clave:** Resiliencia, capital, sostenibilidad territorial, desarrollo rural, transición socioeconómica, gobernanza.

**Keywords:** Resilience, capital, territorial sustainability, rural development, socioeconomic transition, governance

# Evaluación de la macrofauna en la zona cafetera del departamento de Nariño

# Macrofauna Evaluation in of the Coffee Zone in Nariño's Department

Jorge Fernando Navia Estrada[1]; Wilmer Libey Delgado Gualmatán[2]; Tulio César Lagos Burbano[3]

[1]Docente de tiempo completo, Facultad Ciencias Agrícolas, Programa Ingeniería Agroforestal, Universidad de Nariño, Pasto; [2]Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos, Universidad de Nariño, Pasto; [3]Docente de tiempo completo, Facultad Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto

jornavia@gmail.com

**Resumen**

Conocer la macrofauna del suelo y su distribución es importante para predecir el estado de degradación de un suelo, así como sus propiedades físicas y su componente biológico. Esta investigación se realizó en los ecotopos cafeteros 220A y 221A sur de Colombia, se evaluaron dos sistemas: café *Coffea arabica* var castillo y bosque nativo, en dos épocas: de lluvia y verano. El muestreo se realizó utilizando la metodología del tropical soil biología and fertility programe (TSBF). El tratamiento estadístico se realizó por medio de un análisis de varianza no paramétrica Prueba de Kruskal-Wall. Se evaluaron densidad de órdenes presentes por metro cuadrado, encontrando que la mayor densidad se presentó en la época de invierno en el sistema bosque en el ecotopo 220A y 221A con promedios de 9.33 órdenes/$m^2$ y 9.67 órdenes/$m^2$. Para densidad de individuos el mayor número se obtuvo en época de invierno en los sistemas de bosque y café en el ecotopo 220A y 221A con promedios que oscilan entre 1808 individuos/$m^2$ y 1368 individuos/$m^2$ superando estadísticamente a la cantidad de individuos/$m^2$ que se presentaron en época de verano. Para biomasa el mayor aporte se obtuvo en la época de invierno en el sistema bosque en los dos ecotopos con promedios de 186.5 gramos/$m^2$ en el ecotopo 220A y 205.74 gramos/$m^2$ para el ecotopo 221A, superando la biomasa que se presentó en café en época de invierno tanto en el ecotopo 220A y el ecotopo 221A.

**Palabras clave**: suelo; taxonomía; densidad; biomasa; café.

**Keywords:** Soil, taxonomy, density, biomass, coffee

# Efectos de los metabolitos secundarios de *Tithonia diversifolia* sobre la fermentación ruminal y las emisiones de metano.

# Effects of *Tithonia diversifolia* secondary metabolites on rumen fermentation and methane emissions.

Laura C. Gracia Morales[1]; Roberto Piñeros-Varón[2]; Maryeimy Varón-López[3]

[1]Estudiante de Maestría, Universidad del Tolima, Ibagué; [2]Docente de tiempo completo, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad del Tolima, Ibagué; [3]Docente de tiempo completo, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima, Ibagué.

lcgraciam@ut.edu.co

**Resumen**

La ganadería en el trópico enfrenta el desafío de incrementar la productividad y, simultáneamente, reducir el impacto ambiental asociado con las emisiones de metano entérico derivadas de la fermentación ruminal. *Tithonia diversifolia* conocida comúnmente como Botón de oro o mirasol, se perfila como una alternativa forrajera para los sistemas silvopastoriles debido a su calidad nutricional, rusticidad y contenido de metabolitos secundarios. El objetivo de esta revisión fue analizar la evidencia disponible sobre la influencia de los metabolitos secundarios de *T. diversifolia* en la fermentación ruminal, la respuesta productiva y las emisiones de gases de efecto invernadero en rumiantes. La metodología consistió en realizar una búsqueda estructurada de literatura científica en las bases de datos de Scopus, Web of Science, PubMed, sciELO y Redalyc, considerando publicaciones del periodo 2015 – 2026. Se emplearon combinaciones de términos relacionados con metabolitos secundarios, digestibilidad, microbiota ruminal, metano entérico, *Tithonia diversifolia* y emisiones de gases de efecto invernadero. Se incluyeron artículos publicados en inglés, español y portugués. Dentro de los resultados obtenidos, se evidenció que *Tithonia diversifolia* contiene diferentes metabolitos secundarios como: saponinas, flavonoides, taninos y otros compuestos fenólicos capaces de modular la actividad microbiana del rumen. De igual manera, los estudios reportan que estos metabolitos poseen la capacidad para disminuir determinadas poblaciones de protozoos y arqueas metanogénicas, modificando la relación simbiótica y favoreciendo la utilización del hidrogeno en rutas metabólicas alternativas, como la formación del propionato. No obstante, pocos estudios han cuantificado simultáneamente los metabolitos secundarios, la microbiota ruminal y las emisiones de metano, por lo que sus mecanismos de acción y su contribución específica aún no se encuentran completamente establecidos. A manera de conclusión se encontró que la inclusión de botón de oro en la dieta se ha asociado con una mayor digestibilidad de la materia seca, un aumento en la síntesis de proteína microbiana y, en algunos estudios, una mayor producción de propionato. En bovinos, su consumo ha permitido mantener o incrementar la producción de leche y sustituir parcialmente pasturas de baja calidad y alimentos concentrados, sin comprometer el desempeño productivo. No obstante, sus efectos sobre la producción de metano son variables, pues se han observado reducciones, ausencia de cambios significativos e incluso incrementos bajo determinadas condiciones. Esta variabilidad depende del nivel de inclusión, el genotipo, la madurez de la planta, la composición de la

dieta basal y las condiciones ambientales. En conjunto, el botón de oro presenta potencial para mejorar la eficiencia productiva y contribuir a la mitigación del cambio climático, aunque se requieren más estudios *in vivo* que relacionen su composición fitoquímica con la respuesta animal y las emisiones de gases de efecto invernadero.

**Palabras Clave:** Microbiota ruminal, metano entérico, botón de oro

**Keywords:** Rumen microbiota, enteric methane, Mexican sunflower

# Interacciones entre ganado bovino y el componente arbóreo en sistemas silvopastoriles mediante tecnologías de monitoreo espacial: revisión bibliométrica

# Interactions between cattle and the tree component in silvopastoral systems using spatial monitoring technologies: a bibliometric review

Maria P. Hartmann Moreno[1], Jairo Mora-Delgado[2], Roberto Piñeros-Varon[3]

[1]Estudiante de Maestría, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia; [2]Profesor Titular, Departamento de Producción Pecuaria, Grupo de Investigación en Sistemas Agroforestales Pecuarios, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia; [3]Profesor Asistente, Departamento de Producción Pecuaria, Grupo de Investigación en Sistemas Agroforestales Pecuarios, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia. mhartmannm@ut.edu.co

**Resumen**

Introducción. Los sistemas silvopastoriles integran árboles, pasturas y bovinos en un mismo espacio productivo, generando heterogeneidad en la disponibilidad de sombra, forraje y condiciones ambientales que puede influir en la distribución y el comportamiento animal. El desarrollo de tecnologías de monitoreo espacial ha permitido relacionar la localización de los bovinos con las características del componente arbóreo y otros elementos del paisaje, favoreciendo una comprensión espacial de estas interacciones. La diversidad de contextos productivos, geográficos y metodológicos hace pertinente sistematizar las aproximaciones utilizadas y las relaciones identificadas. Objetivo. Analizar las tendencias de investigación sobre las interacciones entre bovinos y el componente arbóreo en sistemas silvopastoriles mediante una revisión sistemática y análisis bibliométrico, identificando los contextos geográficos y productivos, las tecnologías de monitoreo empleadas, las características del componente arbóreo evaluadas y los principales factores asociados con la distribución y el uso del espacio por los animales. Métodos. Se realizó una revisión sistemática siguiendo las directrices *Preferred Reporting Items For Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), complementada con un análisis bibliométrico de publicaciones correspondientes al período 2010-2026. La búsqueda se estructuró mediante términos relacionados con bovinos, sistemas silvopastoriles y agroforestales, componente arbóreo, comportamiento o movimiento animal y tecnologías de monitoreo espacial. Se incluyeron estudios que evaluaran bovinos en estos sistemas y reportaran información sobre su distribución, movimiento o uso del espacio en relación con el componente arbóreo. Se excluyeron los registros duplicados y los documentos que no abordan esta relación. Para cada estudio se sistematizaron el país, el sistema productivo, la tecnología de monitoreo animal, las herramientas de caracterización de la vegetación, las variables del componente arbóreo, las condiciones ambientales y los factores asociados con el uso del espacio. Resultados. Se identificaron y analizaron 42 documentos elegibles. El uso de receptores GPS y Sistemas de Información Geográfica (SIG) predominó, presente en 38 documentos (90,5 %), para caracterizar la distribución espacial y los patrones de movimiento del ganado. Para caracterizar el componente arbóreo y las condiciones ambientales, 17 estudios (40,5 %) utilizaron imágenes satelitales y ortofotografías; 14 (33,3 %) emplearon sensores térmicos, acelerómetros y tecnologías de Internet de las cosas; y 11 (26,2 %) utilizaron vehículos aéreos no

tripulados. La distribución y el movimiento de los bovinos se relacionaron con la cobertura y configuración arbórea, disponibilidad de sombra y forraje, acceso al agua, pendiente y condiciones térmicas. En conjunto, los estudios evidencian que el uso del espacio responde a la interacción entre la estructura del componente arbóreo, la disponibilidad de recursos y las condiciones ambientales. Conclusiones. La investigación sobre las interacciones entre bovinos y el componente arbóreo ha evolucionado hacia enfoques espacialmente explícitos que integran información del animal y del ambiente. La articulación de tecnologías de posicionamiento, sensores remotos y variables ambientales permite caracterizar los patrones de movimiento, permanencia y uso de recursos, aportando elementos para profundizar en la comprensión de estas interacciones y fortalecer el diseño y manejo de sistemas silvopastoriles.

**Palabras clave:** telemetría; patrones de pastoreo; ganadería de precisión.
**Keywords:** telemetry; grazing patterns; precision livestock farming.

# El suelo como indicador de los sistemas agroforestales: línea base de 14 perfiles en Andisoles antes de la reconversión agrosilvopastoril en Pensilvania, Caldas, Colombia

# Soil as an indicator of agroforestry systems: baseline of 14 profiles in Andisols prior to agrosilvopastoral conversion in Pensilvania, Caldas, Colombia.

José Alexander Godoy Bautista

Docente Universitario de Sistemas de Información Geográficas UNIOC, Colombia

Alexander.godoy@unioc.edu.co

**Resumen**

La reconversión de plantaciones forestales hacia sistemas agroforestales requiere indicadores que permitan evaluar su efecto sobre el suelo. El objetivo de este estudio fue determinar indicadores el análisis fisicoquímico y la descripción morfológica de los suelos en una granja de Pensilvania (Caldas). En la Granja San José (Pensilvania, Caldas; 1.853–1.969 m s.n.m.; 3.500 mm año$^{-1}$), un predio originalmente plantado con Pino Romerón (*Retrophyllum rospigliosii*) al que se integraron cultivos y, desde 2023, ganado, se estableció una línea base edafológica previa al componente pecuario. Entre noviembre y diciembre de 2021 se abrieron 14 calicatas bajo cultivos con árbol o sombrío, potreros con Romerón, plantaciones puras y mixtas, un cultivo sin árbol y referentes de conservación (guadua y sucesión natural). En cada perfil se realizó la descripción morfológica, el análisis fisicoquímico por horizonte, la densidad aparente y el recuento de cuatro grupos microbianos funcionales. Los suelos se clasificaron como Melanudands típicos y páquicos, con fijación de fósforo (1–9 mg kg$^{-1}$), baja capacidad de intercambio catiónico y aluminio concentrado en superficie. La plantación pura de coníferas acumuló 8,65 % de materia orgánica, pero presentó pH 3,84, 1,43 cmol(+) kg$^{-1}$ de aluminio y apenas $10^2$ UFC g$^{-1}$ de microorganismos celulolíticos, mientras que los sistemas agroforestales registraron entre 80 y 960 veces más. Los cultivos con árbol o sombrío casi duplicaron la materia orgánica del cultivo sin árbol (7,6–8,1 % frente a 4,1 %) y no desarrollaron la capa densa subsuperficial (1,64 g cm$^{-3}$) observada en este. En los potreros, el arreglo lineal de romerón extendió la actividad de macroorganismos hasta 80 cm de profundidad, frente a 29 cm bajo progenie, aunque los tres potreros presentaron aumentos de densidad aparente iguales o superiores a 0,3 g cm$^{-3}$ bajo la superficie. Se concluye que la materia orgánica, por sí sola, es un indicador insuficiente de la salud del suelo en Andisoles, y que la integración del componente arbóreo constituye n criterio clave para orientar la reconversión agroforestal en laderas andinas.

**Palabras clave:** edafología, agroecología, salud del suelo

**Keywords:** edaphology, agroecology, soil health

# Mercadeo sostenible y aprendizaje experiencial para fortalecer mercados campesinos con enfoque agroecológico

# Sustainable marketing and experiential learning to strengthen peasant markets with an agroecological approach

Juanita Bueno Castro[1]; Jorge A. Beltrán Martínez[1]; Angie C. Barrera Niño[1]; Jorge D. Vásquez Díaz[2]; Juan S. Herrera Yáñez[3]; Rodrigo A. Serrano Cuellar[4]; José Alexander Correa Díaz[5]; Jorge R. Serrano[6]

*[1]Estudiante de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad del Tolima, Ibagué; [2]Estudiante de Maestría en Desarrollo Rural, Universidad del Tolima, Ibagué; [3]Ingeniero Agrónomo, Universidad del Tolima, Ibagué; [4]Licenciado en Matemáticas, Universidad del Tolima, Ibagué; [5]Candidato a Magíster en Ciencias Pecuarias, Universidad del Tolima, Ibagué; [6]Docente de tiempo completo, Departamento de Producción Pecuaria, Universidad del Tolima, Ibagué*

*jrserrano@ut.edu.co*

**Resumen**

**Introducción**: Los mercados campesinos constituyen canales de comercialización directa que articulan producción local, comercio justo y sostenibilidad. En este contexto, el mercadeo sostenible integra dimensiones ambientales, sociales y económicas a lo largo de la cadena de valor, desde la producción hasta la distribución, comunicación y consumo. En el proyecto "Fortalecimiento Logístico y Comercial de la Asociación Mercados Campesinos de Ibagué", código 100724, se desarrolló un proceso de capacitación orientado al fortalecimiento de capacidades para la comercialización agropecuaria sostenible. **Objetivo**: Fortalecer competencias en mercadeo sostenible de actores agropecuarios mediante formación aplicada y aprendizaje experiencial, promoviendo alternativas de comercialización coherentes con principios agroecológicos. **Métodos**: Se desarrolló una capacitación en modalidad híbrida en dos sesiones, realizadas los días 4 y 6 de noviembre de 2025, mediante exposiciones, estudios de caso y dinámicas grupales. Se abordaron principios del mercadeo sostenible, desarrollo de productos, comunicación, promoción y mercadeo digital, junto con estrategias de certificación sostenible, ferias cero residuos, canastas a domicilio, alianzas comerciales, recorridos educativos, programas de recompensas, talleres educativos y herramientas digitales. Como componente de aprendizaje experiencial se reconocieron prácticas de comercialización en mercados agroecológicos de la Universidad Tecnológica de Pereira, orientadas a contrastar los contenidos de la formación con experiencias de comercialización directa. **Resultados**: Se capacitaron 40 personas en mercadeo sostenible. El proceso formativo permitió abordar la integración de criterios ambientales, sociales y económicos en la comercialización agropecuaria y analizar alternativas para diferenciar productos locales, comunicar atributos de sostenibilidad y fortalecer la relación directa entre productores y consumidores. El componente experiencial permitió identificar prácticas de comercialización directa, valorización de productos locales e interacción productor-consumidor como referentes susceptibles de adaptación al contexto de los mercados campesinos de Ibagué. **Conclusiones**: La capacitación brindó herramientas conceptuales y prácticas para incorporar criterios de sostenibilidad en la comercialización agropecuaria. La articulación entre formación y aprendizaje experiencial facilitó el análisis de estrategias

compatibles con la agroecología, el comercio justo y los circuitos cortos de comercialización. Se recomienda dar continuidad a procesos participativos de formación y acompañamiento que permitan aplicar y evaluar estas estrategias en los mercados campesinos.

**Palabras clave:** comercio justo; productores rurales; extensión universitaria

**Keywords:** fair trade; rural producers; university extension

# Caracterización microbiológica de camas avícolas sanitizadas para su potencial uso como enmiendas en sistemas agroforestales

# Microbiological characterization of sanitized poultry litter for its potential use as an amendment in agroforestry systems

Ana M. Bermúdez Pava[1]; Maryeimy Varón-López[2]; Maria A. Ospina Barrero[3]

[1]Estudiante de Biología, Universidad del Tolima, Ibagué; [2]Profesora asociada, departamento de Biología, Grupo de Investigación en Ecología Microbiana y Biotecnología (ECOMIB), Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia; [3]Profesora asístete, departamento de Biología, Grupo de Investigación en Genética, Biotecnología Vegetal y Microbiana de la Universidad del Tolima (GEBIUT), Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.

ambermudezp@ut.edu.co

**Resumen**

Introducción: La cama avícola reutilizada constituye una fuente potencial de materia orgánica y nutrientes para el suelo; sin embargo, también puede representar una vía de incorporación de microorganismos de importancia sanitaria al sistema suelo–planta–animal. Esto es particularmente relevante en sistemas agroforestales, donde la incorporación de estos materiales al suelo puede generar interacciones entre los microorganismos presentes en la cama, el microbioma del suelo y las plantas, con posibles implicaciones para la salud agroecosistémica y la inocuidad de los alimentos de origen agrícola y pecuario. Objetivo: Caracterizar las condiciones microbiológicas y fisicoquímicas de camas avícolas reutilizadas sometidas a un proceso de sanitización, con el propósito de valorar su potencial incorporación como enmiendas en sistemas agroforestales. Métodos: Se recolectaron muestras de cama avícola higienizada por apilamiento de cuatro unidades provenientes de producciones avícolas del Cañón del Combeima, Ibagué, Tolima, correspondientes a sistemas de baja y alta densidad de alojamiento y con la misma línea genética de pollos. Posteriormente, se determinaron temperatura, humedad y pH, y se cuantificaron microorganismos aerobios mesófilos mediante agar Plate Count, así como enterobacterales totales y resistentes a ceftriaxona mediante agar MacConkey. Se evaluó la presencia de Salmonella spp. mediante aislamiento y confirmación bioquímica, siguiendo los lineamientos establecidos en la NTC 4574. Resultados: Se observaron variaciones en las condiciones fisicoquímicas de las camas evaluadas. Las camas de alta densidad presentaron temperaturas entre 33 y 40 °C, humedad entre 48 y 74 % y pH entre 4,8 y 6,6, mientras que las de baja densidad registraron temperaturas entre 22 y 30 °C, humedad entre 50 y 54 % y pH entre 5,0 y 6,8. Se detectó la persistencia de aerobios mesófilos, enterobacterales y enterobacterales resistentes a ceftriaxona en las camas analizadas, con concentraciones de hasta 7,3 × $10^6$ UFC/g, 1,7 × $10^5$ UFC/g y 1,6 × $10^4$ UFC/g, respectivamente. No se detectó Salmonella spp. en ninguna de las camas evaluadas. Las variables fisicoquímicas permitieron contextualizar las condiciones presentes en las camas al momento de la evaluación y los recuentos microbiológicos obtenidos, sin establecer una relación de causalidad o correlación estadística entre estas variables. Los resultados microbiológicos se contrastaron con los criterios de referencia establecidos en la NTC 5167 para materiales orgánicos destinados a su uso como enmiendas, particularmente en relación con la ausencia de Salmonella spp. y los límites

establecidos para enterobacterias totales. La ausencia de *Salmonella spp*. constituye un resultado favorable; sin embargo, la persistencia de enterobacteriales, incluidos aquellos resistentes a ceftriaxona, evidencia la necesidad de evaluar la inocuidad microbiológica de estos materiales antes de su incorporación al suelo. En este sentido, la caracterización conjunta de las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas permite una valoración integral de las camas avícolas sanitizadas, considerando las condiciones del material como la presencia de microorganismos de interés sanitario. Conclusión: Estos resultados resaltan la importancia de fortalecer los procesos de sanitización y vigilancia de las camas avícolas antes de su utilización como enmiendas, considerando sus posibles implicaciones en las interacciones microorganismo–suelo–planta–animal y en la inocuidad de los productos agrícolas y pecuarios obtenidos en sistemas agroforestales.

**Palabras Clave**: Enmiendas orgánicas, microorganismos patógenos, inocuidad.

**Keywords**: Organic amendments, pathogenic microorganisms, safety**.**

.

# Biocostras, la nueva cara de la restauración de suelos en tierras secas frente a la degradación antrópica y el cambio climático

# Biocrusts, the new face of soil restoration in drylands under anthropogenic degradation and climate change

Juan D. Bonilla[1]; Liz A. Gómez[1]; Ana Giraldo Silva[2]; Maryeimy Varón-López[3]; Jairo Mora-Delgado[4]

[1]Estudientes de Biología, Universidad del Tolima; [2] Profesora investigadora de la Universidad Pública de Navarra, España; [3]Profesora asociada, departamento de Biología, Universidad del Tolima, [4]Profesor, titular Departamento de Producción Pecuaria, Universidad del Tolima, Ibagué

mvaronl@ut.edu.co

**Resumen**

Las tierras secas, ocupan cerca del 30% de la superficie terrestre de los continentes y entre el 16 y 17% del territorio de Colombia, además son habitadas por el 20% de la población mundial. En estos ambientes encontramos biocostras, las cuales son comunidades microbianas formadas por cianobacterias, arqueas, bacterias, hongos, líquenes y musgos, que se desarrollan sobre la superficie del suelo y prestan valiosos servicios ecosistémicos, entre ellos destacan, la disminución la erosión del suelo, la retención de la humedad y el favorecimiento del ciclaje de nutrientes. Debido a lo anterior, las biocostras surgen como una alternativa con potencial para contribuir a procesos de recuperación ecológica y restauración de suelos degradados, particularmente en sistemas agrícolas sostenibles. El objetivo de este estudio es identificar la presencia de biocostras en tierras secas del departamento del Tolima. Para ello, se seleccionaron dos zonas de estudio ubicadas en los municipios del Guamo y Coello, este último específicamente en el corregimiento de Gualanday. Los sitios fueron georreferenciados y se realizó la colecta de estructuras con características morfológicas compatibles con biocostras, las cuales fueron trasladadas al laboratorio para su procesamiento y análisis. Como resultado, se corroboró la presencia de biocostras en el corregimiento de Gualanday luego de la identificación de bundles en las muestras al observarlas con el estereoscopio, por otra parte se determinó la presencia de láminas de cianobacterias en el municipio del Guamo, al estas carecer de bundles y otros caracteres diagnósticos, determinantes para la clasificación de biocostras, y presentar un enroscamiento en los bordes de los fragmentos, propios de estas formaciones. Estos hallazgos representan los primeros acercamientos al reconocimiento de estas comunidades en estas tierras secas, entre ellas el bosque seco tropical del departamento del Tolima, donde la mitad de su territorio sufre procesos de degradación del suelo por desertificación y erosión, y donde los ecosistemas son importantes para la subsistencia de sus comunidades por la actividad agrícola que allí tiene lugar. Por lo anterior nace la necesidad de implementar estrategias que contribuyan a conservar la funcionalidad edáfica de estos ecosistemas, y de estudios que permitirán avanzar en la comprensión de la composición y funcionalidad de estos complejos multiespecie, así como de su interacción con factores bióticos, como las actividades pecuarias, y factores abióticos relacionados con la agudización de condiciones ambientales y el cambio climático. A manera de conclusión, es notorio que existe una limitación con la información disponible sobre diversidad y funcionalidad de los

microorganismos asociados a biocostras en los bosques secos tropicales del Tolima, por lo que resulta pertinente ampliar su estudio en diferentes zonas del departamento. Dado su impacto, visto desde el enfoque de Una salud y al entender la importancia de las interacciones microorganismo-suelo-planta, promover la conservación y el uso de biocostras en planes de restauración, tendría un impacto positivo en la seguridad alimentaria y en la lucha contra el cambio climático al favorecer directamente la salud del suelo e impactar las actividades que se desarrollan alrededor del uso de este.

**Palabras Clave:** Desertificación, suelo, microorganismo, Una salud

**Keywords:** Desertification, soil, microorganism, One Health.

# Agrobiodiversidad en sistemas agroforestales cafeteros: tres casos con mujeres rurales de Chaparral, Tolima

# Agrobiodiversity in coffee agroforestry systems: three cases involving rural women from Chaparral, Tolima

Paola Andrea Rodriguez Rodriguez[1];
Geraldine Mahecha Castañeda[2]

[1]Docente investigador, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima, Ibagué; [2]Joven investigadora, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima, Ibagué

paorodriguezr@ut.edu.co

**Resumen**

La presente ponencia tiene el interés de relacionar la agrobiodiversidad presente en los sistemas agroforestales de café identificados en tres asociaciones de mujeres del municipio de Chaparral-Tolima (ASPOPROMIX, AMOCAL, ASMUR). Se reconoce que la agrobiodiversidad en el sur del Tolima, se caracteriza por la presencia de comunidades indígenas, afros y campesinas con ecosistemas con alta diversidad ambiental y cultural, que no pueden entenderse simplemente como un inventario de especies cultivadas. El objetivo de estos talleres fue recopilar y sistematizar información, mediante procesos participativos de diálogo de saberes, sobre la diversidad de especies vegetales y animales presentes en cada vereda, considerando su relación con los sistemas productivos y agroforestales locales. Asimismo, se buscó reconocer los conocimientos tradicionales asociados a sus usos ancestrales y contemporáneos, las prácticas comunitarias de manejo y conservación, y las perspectivas de las comunidades frente a su aprovechamiento sostenible. Como actividad central, se desarrolló un ejercicio de cartografía social veredal utilizando mapas impresos en formato plotter, que fueron realizados en la plataforma QGIS de cada una de las veredas (Risalda, Altoredondo y Rionegro). A partir de sus conocimientos y experiencias, las participantes representaron los límites de la vereda, las vías de acceso, los recursos hídricos, las áreas boscosas, los principales cultivos, la presencia de fauna, las viviendas, las escuelas y otros sitios de importancia comunitaria. De manera paralela. Se promovió la reflexión sobre la evolución de la grobiodiversidad en el territorio, identificando las especies presentes en el pasado, las que permanecen en la actualidad y aquellas que se proyectan para el futuro. En la zona de estudio, el café fue identificado como uno de los cultivos de mayor relevancia económica para las unidades productivas familiares. Su manejo se caracteriza por la integración con otras especies agrícolas mediante arreglos temporales y espaciales que favorecen la diversificación productiva y el aprovechamiento eficiente del suelo. Es frecuente el establecimiento transitorio de cultivos como maíz entre las calles o surcos del café, práctica que permite utilizar áreas temporalmente disponibles mientras se recupera la cobertura productiva del sistema. Asimismo, se evidenció la asociación del café con plátano, especie que, además de aportar productos para el autoconsumo o la comercialización, cumple funciones de sombrío dentro del arreglo agroforestal. El aguacate también se encuentra presente en las fincas, aunque generalmente se establece en lotes independientes o en sectores específicos, donde puede contribuir a la diversificación productiva y a la generación de cobertura arbórea. Por su parte, la yuca se cultiva ocasionalmente en las calles del

cafetal, constituyéndose en una estrategia de intensificación y optimización del uso del espacio disponible. Este ejercicio permitió integrar el conocimiento local con una lectura socioecológica del territorio, identificando especies de importancia alimentaria, medicinal, productiva, cultural y ambiental, así como posibles estrategias para su conservación y valorización dentro de sistemas agroforestales diversificados.

**Palabras clave:** medios de vida, campesinos, diversidad biológica, saberes ancestrales

**Keywords:** livelihoods, peasants, biodiversity, ancestral knowledge

# ¿Cambian los árboles el balance de metano del suelo? Metaanálisis del flujo de $CH_4$ del suelo en sistemas agroforestales

# Do trees change the soil methane balance? Effects of agroforestry systems on soil $CH_4$ flux: a systematic review and meta-analysis

Joseph Cristancho [1], Jairo Mora-Delgado[2], Maryeimy Varón-López[3]

[1] Docente investigador, Universidad la Gran Colombia, Armenia, Quindío; [2] Profesor titular, Departamento de Producción Pecuaria, Grupo SAFP, Universidad del Tolima, Ibagué; [3]Profesor asociado, Departamento de Biología, Universidad del Tolima, Ibagué

jfcristanchogom@ut.edu.co

**Resumen**

**Introducción:** Los sistemas agroforestales se promueven como una estrategia de mitigación climática, pero su efecto neto sobre el balance de metano ($CH_4$) del suelo sigue siendo incierto: los árboles pueden aumentar la oxidación microbiana y, a la vez, modificar la humedad, la temperatura y el aporte de carbono que controlan la producción de $CH_4$. **Objetivo:** Cuantificar, mediante una revisión sistemática y un metaanálisis, el efecto de los sistemas agroforestales sobre el flujo de $CH_4$ del suelo en comparación con controles sin árboles. **Métodos:** Se buscó en Scopus, ScienceDirect, PubMed y Google Scholar hasta octubre de 2026 siguiendo la declaración PRISMA 2020. Se identificaron 180 registros y se incluyeron 22 informes (21 estudios). Para cada comparación se extrajeron la media, la desviación estándar y el tamaño de muestra de los dos brazos, y el flujo se expresó en una unidad común (kg $CH_4$-C $ha^{-1}$ $año^{-1}$). El tamaño del efecto fue el logaritmo de la razón de respuesta (lnRR) sobre la magnitud del flujo neto, con el dominio del efecto (absorción o emisión neta) declarado por separado. Se ajustaron modelos de efectos aleatorios (DerSimonian-Laird) con intervalos de Knapp-Hartung, análisis de subgrupos, metarregresión sobre el riesgo de sesgo (instrumento NOS-AF de 10 ítems) y prueba de Egger; la dispersión faltante se imputó de forma documentada y se evaluó en nueve escenarios de sensibilidad. **Resultados:** Nueve comparaciones de nueve informes entraron en el modelo principal. El lnRR agrupado fue 0,66 (intervalo de confianza del 95 %: –0,17 a 1,49; p = 0,101), lo que corresponde a un cociente de 1,94 entre la magnitud del flujo bajo los árboles y en el control, sin efecto global concluyente. La heterogeneidad fue muy alta ($I^2$ = 97,2 %; $\tau^2$ = 0,94) y el intervalo de predicción amplio (–1,78 a 3,10). El efecto fue similar en los contrastes de absorción neta (k = 5; lnRR = 0,60; –0,60 a 1,80) y de emisión neta (k = 4; lnRR = 0,70; –2,90 a 4,30), y el efecto orientado a mitigación —con el signo corregido según el dominio— fue nulo (–0,03; –1,01 a 0,96). La puntuación NOS-AF explicó el 82 % de la varianza entre estudios (pendiente –0,28; p = 0,110) y no se detectó

asimetría del embudo (prueba de Egger p = 0,836). El $CH_4$ de las excretas del ganado aumentó un 76 % en los sistemas silvopastoriles (k = 2; lnRR = 0,57; 0,03 a 1,11). **Conclusiones:** La evidencia disponible no permite afirmar que los sistemas agroforestales reduzcan el flujo neto de $CH_4$ del suelo. Los resultados sugieren que los árboles cambian la magnitud del flujo más que su dirección, y que la mayor parte de la heterogeneidad se asocia con la calidad del reporte y con la ventana de medición. Se requieren mediciones pareadas de flujo y microorganismos, con cobertura anual completa, mayor replicación verdadera y reporte explícito de la dispersión.

**Palabras clave:** cambio climático, gases de efecto invernadero, metanótrofos, silvopastoril, oxidación de metano, efectos aleatorios.

**Keywords:** climate change, greenhouse gases, methanotrophs, silvopastoral, methane oxidation, random effects

# Forage biomass estimation and performance of Colombian hair sheep in silvopastoral systems with *Leucaena leucocephala* and *Tithonia diversifolia*

# Estimación de biomasa forrajera y desempeño de ovinos de pelo colombianos en sistemas silvopastoriles de *Leucaena leucocephala* y *Tithonia diversifolia*

Jairo A. Pardo Guzmán[1]; Diana C. Mogollón Vergara[1]; Ana Guerrero Barrado[2]; María P. Hartmann Moreno[1]; Román D. Castañeda Serrano[1]

[1]Department of Animal Production, Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics, University of Tolima, Ibagué, Colombia; [2]Department of Animal Production and Health, Veterinary Public Health, and Food Science and Technology, CEU Cardenal Herrera University, Valencia, Spain.

rcastaneda@ut.edu.co

**Abstract**

Introduction. Under tropical dry forest conditions, forage availability and nutritional composition are decisive factors for the productive performance of sheep. The incorporation of shrub species in silvopastoral systems can modify biomass and nutrient supply compared to conventional grazing, with potential implications for performance and carcass traits. Objective. To evaluate the supply and chemical composition of forage biomass, performance, and carcass yield in Colombian hair sheep managed under silvopastoral systems with *Leucaena leucocephala* and *Tithonia diversifolia*. Methods. Thirty intact male sheep, approximately six months of age and with a live weight of 25 ± 1,1 kg, were randomly distributed into three treatments: *Bothriochloa pertusa* without shrubs (CPS), *B. pertusa* associated with *L. leucocephala* (SPSL; 1,800 shrubs/ha), and *B. pertusa* associated with *T. diversifolia* (SPST; 1,200 shrubs/ha), with ten animals per treatment. The experimental period lasted 166 days. Available biomass was estimated every 30 days across five periods, and its proximate composition was determined. Average daily gain and carcass yield variables were determined. Results. There were differences ($p < 0,05$) between the SPSL and SPST treatments versus the CPS control treatment, yielding dry matter production values of 2,771, 2,805, and 2,588 kg DM/ha, respectively. Crude protein values of 7,56, 7,52, and 6,50% were observed for the SPSL, SPST, and CPS treatments, respectively. Sheep in SPSL and SPST achieved higher final weights (36,38 and 35,88 vs. 31,14 kg; $P = 0,035$) and average daily gains (63,98 and 70,66 vs. 35,66 g/d; $P = 0,003$) than CPS. Hot and cold carcass weights were also higher in both silvopastoral systems. Cold carcass yield was 43,85, 41,75, and 41,14% for SPSL, SPST, and CPS, respectively, with no significant overall difference among treatments ($P = 0,064$). Conclusions. The inclusion of *Leucaena leucocephala* and *Tithonia diversifolia* in silvopastoral systems increased forage dry matter production and was associated with greater average daily gain and higher hot and cold carcass weights in sheep compared with conventional grazing. Cold carcass yield, expressed as a percentage, did not differ significantly among treatments.

**Keywords:** agroforestry systems, small ruminants, tropical dry forest, tropical tree fodder

**Palabras clave**: sistemas agroforestales, pequeños rumiantes, bosque tropical seco, forraje arbóreo tropical

# Sustentabilidad y mercadeo agropecuario: valorización agroecológica y potencial agroforestal de siete fincas campesinas

# Sustainability and Agricultural Marketing: Agroecological Valorization and Agroforestry Potential of Seven Peasant Farms

Jorge R. Serrano[1]; Juan S. Herrera Yáñez[2]; Angie C. Barrera Niño[3]; Rodrigo A. Serrano Cuellar[4]; Jorge D. Vásquez Díaz[5]

[1]Docente de tiempo completo, Departamento de Producción Pecuaria, Universidad del Tolima, Ibagué; [2]Ingeniero Agrónomo, Universidad del Tolima, Ibagué; [3]Estudiante de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad del Tolima, Ibagué; [4]Licenciado en Matemáticas, Universidad del Tolima, Ibagué; [5]Estudiante de la Maestría en Desarrollo Rural, Universidad del Tolima, Ibagué

jrserrano@ut.edu.co

**Resumen**

**Introducción:** Los mercados campesinos articulan producción local, circuitos cortos y relaciones directas entre productores y consumidores, pero su fortalecimiento requiere reconocer y comunicar atributos verificables de sustentabilidad. El proyecto "Fortalecimiento Logístico y Comercial de la Asociación Mercados Campesinos de Ibagué", código 100724, integró apoyo logístico, formación en gestión empresarial y mercadeo sostenible con la evaluación multidimensional de siete fincas campesinas de la zona rural de Ibagué, generando una oportunidad para relacionar desempeño predial, transición agroecológica y potencial agroforestal. **Objetivo:** Analizar comparativamente la sustentabilidad de siete fincas vinculadas al proceso, identificando fortalezas, limitaciones y atributos agroecológicos y agroforestales con potencial de valorización mediante estrategias de mercadeo agropecuario. **Métodos:** Se realizaron visitas de campo, diagnóstico productivo y recomendaciones técnicas. La sustentabilidad se evaluó mediante indicadores ambientales, económicos y sociales, calificados de 0 a 4 e integrados en los índices de sustentabilidad ambiental (ISA), económica (ISE), social (ISS) y final (ISF). Para interpretar el ISF se establecieron cuatro categorías: baja (0–1), moderada (1,1–2), alta (2,1–3) y muy alta (3,1–4). El análisis comparó los siete sistemas e identificó prácticas relacionadas con diversificación, conservación, manejo de residuos, bioinsumos, autonomía productiva y comercialización. **Resultados:** El proyecto alcanzó 36 servicios de transporte y 69 personas capacitadas en gestión empresarial y mercadeo sostenible. Las fincas mostraron heterogeneidad: F1 y F6 presentaron sustentabilidad moderada; F2, F3 y F5, alta; y F4 y F7, muy alta; ninguna se ubicó en baja sustentabilidad. La dimensión ambiental presentó el comportamiento general más favorable, mientras la económica concentró las principales limitaciones, asociadas con rentabilidad, ingresos, alternativas de comercialización y apoyo institucional. F2 y F3 sobresalieron por diversificación, lombricompostaje y bioinsumos; F4 combinó autonomía productiva, lombricompost comercializable, diversificación y conservación boscosa; y F7 evidenció transición agroecológica mediante producción de sustratos y bioinsumos, aprovechamiento de guadua, integración agrícola-pecuaria y educación ambiental. F1 y F5 mostraron condiciones para fortalecer arreglos agroforestales mediante asociaciones de café, cacao, plátano, frutales y especies multipropósito;

F6 requirió prioritariamente recuperación productiva y manejo sanitario. En conjunto, biodiversidad, reducción de insumos externos, reciclaje de nutrientes, saberes campesinos y conservación constituyeron atributos con potencial de diferenciación comercial. **Conclusiones:** Las siete fincas presentan diferentes grados de desarrollo agroecológico y potencial agroforestal, por lo que la sustentabilidad no debe comunicarse como atributo homogéneo. Integrar evaluación predial y mercadeo permite identificar prácticas verificables, orientar mejoras y construir propuestas de valor diferenciadas. El fortalecimiento de arreglos agroforestales, bioinsumos, diversificación y conservación, acompañado de circuitos cortos y comunicación responsable de atributos ambientales y sociales, puede contribuir simultáneamente a la resiliencia productiva, los ingresos rurales y el posicionamiento de los mercados campesinos.

**Palabras clave:** circuitos cortos; bioinsumos; agricultura familiar

**Keywords:** short supply chains; bioinputs; family farming

# Una Salud desde la estrategia de Centros Campesinos de Formación en Agroecología y Agricultura Campesina Familiar, Étnica y Comunitaria

# One Health from the strategy of Peasant Training Centers in Agroecology and Family, Ethnic and Community Peasant Agriculture

Arlex Angarita Leiton[1]

[1] Profesor, Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO,
Movimiento Agroecológico Colombiano – MACO, Red Nacional de Agricultura Familiar –
RENAF, Red Latinoamericana de Piscología Rural - RedPsiRural
aangarita@uniminuto.edu

Resumen

El trabajo corresponde a un proceso de intervención en comunidades campesinas de seis municipios del complejo de páramos del Tolima, pertenecientes a la categoría de Agricultura Campesina Familiar Étnica y Comunitaria – ACFEC, que se ha centrado en la creación participativa de Centros Campesinos de Formación en Agroecología como estrategia de Educación Ambiental para la protección del patrimonio socioambiental y cultural del territorio. El proceso se inicia a mediados del año 2024 con la formulación participativa de una propuesta de proyecto que fue presentado al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible que ha sido financiado por el Sistema General de Regalías a partir del julio del año 2025. La estrategia metodológica se fundamenta en el desarrollo de Escuelas Campesinas Agroecológicas - ECAs que permitan la consolidación de sistemas productivos familiares agrobiodiversos, bajo enfoque agroecológico, como Aulas-Laboratorios Vivos para la investigación, la enseñanza y el aprendizaje dirigido por la familia a la comunidad, siendo acompañadas por un equipo de facilitadores técnicos profesionales y experimentados campesino-as agroecológicos, quienes guiados por la metodología “de Campesino-a a Campesino-a” permiten avanzar en la conformación de los Centros Campesinos de Formación. La población participante corresponde a familias campesinas pertenecientes a la categoría de ACFEC, así como organizaciones campesinas de mujeres y jóvenes, como estrategia de inclusión, equidad y apoyo para su sostenibilidad y la de los Centros Campesinos de Formación una vez el proyecto culmine sus actividades. Como parte del proceso se ha considerado un kit básico de educación ambiental constituido por algunos materiales, insumos, herramientas, maquinarias y equipos que son empleados para el desarrollo de actividades demostrativas y que son entregados a las comunidades
para lograr las implementaciones básicas en sus predios para la transición de sus sistemas tradicionales de producción hacia sistemas agroecológicos que sean ejemplos concretos de producción conservando y cuidando la vida. Los **resultados y aprendizajes** logrados durante el primer año de desarrollo del proceso son los siguientes: • Mediante la estrategia de los Centros Campesinos de Formación en Agroecología para la educación ambiental en zonas amortiguadoras del complejo de páramos del Tolima, se ha logrado gestionar recursos para el desarrollo de acciones concretar concretas de gestión ambiental en 130 familias de la ACFEC del territorio • Se está desarrollando 6 Escuelas Campesinas Agroecológicas (una por municipio), con la participación de 450 mujeres, hombres, jóvenes niñas y niños, que se están perfilando como vigías de patrimonio socioambiental y sociocultural del territorio • Los módulos de estudio que han sido priorizados para avanzar en el proceso han sido: Agroecología y Agricultura Familiar;

Estrategias de la Economía Social y Solidaria; Formulación y gestión de proyectos agroecológicos; Metodologías participativas para la Agroecología y la ACFEC; Evaluación de Sustentabilidad; Desarrollo rural sustentable; y Educación ambiental aplicada en agroecología • Los módulos de estudio y sus contenidos se desarrollan de manera práctica y aplicada en las fincas, empezando con la práctica y luego complementando con la teoría, procurando generarla desde las reflexiones y conocimientos que las personas van teniendo durante el proceso • Se avanza en conformación de 6 comités dinamizadores (uno por municipio), constituidos por representantes de organizaciones y proceso locales, quienes de manera participativa serán los dueños y rectores del accionar de los centros campesinos, para lo cual contarán con una dotación de equipos, insumos y medios básicos para seguir avanzando en el cuidado de la vida desde la perspectiva agroecológica. **Conclusiones.** La constitución de Centros Campesinos de Formación en Agroecología, como estrategia de educación ambiental en contextos de la ACFEC en zonas estratégicas de conservación, resulta ser una alternativa para que las familias campesinas puedan avanzar hacia el diseño e implementación de alternativas tecnológicas para desarrollar una agricultura más sustentable, concretando acciones de conservación y cuidado de la vida. Las Escuelas Campesinas Agroecológicas, son una buena estrategia para desencadenar procesos concretos de educación ambiental aplicada a la realidad de las familias campesinas de la zona de amortiguación del complejo de páramos del Tolima, desde el aporte a la sustentabilidad de los sistemas productivos familiares que desarrollan. Agradecimientos. Agradecimiento espacial a las familias campesinas de las veredas Santa Rita de Anzoátegui, La Rica de Santa Isabel, El Recodo y Cajones de Murillo, La Esmeralda de Villahermosa, la Cristalina de Casabianca y la Esperanza de Herveo en el Tolima, por su acogida y disposición para ser parte de la estrategia de Educación Ambiental con los centros campesinos de Formación en Agroecología. Declaración de uso de IA (considerar uso ético) En el desarrollo de este relato de experiencia no se ha utilizado Inteligencia Artificial o aplicaciones que conduzcan a la generación de información de fuentes que no son las del propio auto

**Palabras clave:** Sustentabilidad; Educación contextualizada; Agricultura familiar; Páramo; Aulas vivas.

**Keywords:** Sustainability; Contextualized education; Family farming; Páramo; living classrooms.

# Mesa 6
# Sistemas Silvoagrícolas
# Coordinador: Dr. Vandreé Julián Palacios

## Monitoring forest restoration: approaches to integrate multi-scale strategies based on a global systematic review and SWOT analysis

## Monitoreo de la restauración forestal: enfoques para integrar estrategias multiescala basados en una revisión sistemática global y un análisis FODA.

Derlyn Johana Solano López[1,2*], Marcelo Schramm Mielke[1,2*], Amanda Freitas Cerqueira[1,2], Saverio Francini[3], Larissa Rocha-Santos[1]

[1] Laboratório de Ecologia Aplicada, Universidade Estadual de Santa Cruz, Rodovia Jorge Amado km 16, Ilhéus CEP: 45662-900, BA, Brazil; [2] Laboratório de Ecofisiologia Vegetal, Universidade Estadual de Santa Cruz, Rodovia Jorge Amado km 16, Ilhéus CEP: 45662-900, BA, Brazil; [3] Department of Science and Technology of Agriculture and Environment (DISTAL), University of Bologna, 40126, Bologna, Italy
msmielke@uesc.br
djslopez.ppgecb@uesc.br

**Abstract**

Forests are crucial for carbon storage, biodiversity, and climate mitigation, yet intensified human disturbances are altering their capacity to regenerate, creating an urgent need for standardized monitoring of restoration efforts. This systematic review analyzes monitoring approaches in forest restoration, providing an evidence-based framework to guide decision-makers and researchers. We analyzed 3,171 articles, of which 402 were selected based on inclusion and exclusion criteria. These articles were published in 135 journals between 1995 and 2025, reflecting the urgency for forest restoration studies over the last decade. The Neotropical realm contributed the largest share of studies (30.60%; n=123), aligning with Brazil's restoration commitments, while the underrepresentation of the Afrotropical realm (n=33) highlights a critical research gap in a region under deforestation pressure. Among restoration techniques, natural regeneration was the most monitored approach (≈60% of studies), followed by seedling planting (≈57%), while direct seeding appeared in only ≈10%, reflecting limited ecological data on native seed species. Regarding monitoring scale, in situ monitoring predominated (n=342), remote sensing appeared in 90 studies, and combined approaches in only 30, indicating limited multi-scale integration. Monitoring gaps include survival (≈38%), physiological stress indicators (≈6%), and seedling replanting (≈5%). The SWOT analysis shows that in situ monitoring is commonly applied to assess survival, growth, and physiological stress, but is constrained by high labor costs and limited spatial coverage, while remote sensing provides landscape-level assessment and temporal continuity but requires technical expertise and capital investment. Combined approaches remain rare despite demonstrated feasibility, representing a key opportunity for forest restoration monitoring.

**Keywords** ecological restoration, functional traits, *in situ* monitoring, monitoring stress, restoration techniques.

**Palabras clave**: restauración ecológica, rasgos funcionales, monitoreo *in situ*, monitoreo de estrés, técnicas de restauración.

# Carbono Almacenado en la Biomasa de un Sistema Agroforestal de Cacao en Cértegui, Chocó

# Carbon Stored in the Biomass of a Cocoa Agroforestry System in Cértegui, Chocó

Jeisson E. Montoya Escobar[1], Kellineth Córdoba Rodrígue1[1], Jhon J. Torres Torres[2], Víctor E. Mena Mosquera[3]

[1] Estudiante de Ingeniería Agroforestal, Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba", Quibdó; [2]MSc., Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba", Quibdó; [3]Ph.D., profesor de Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba", Quibdó

llestiven2003@gmail.com

**Resumen**

**Introducción.** Los sistemas agroforestales (SAF) con cacao (*Theobroma cacao* L.) son reconocidos por su capacidad de almacenar carbono en la biomasa aérea y subterránea, lo que los posiciona como alternativas sostenibles frente a la deforestación y como potenciales beneficiarios de mecanismos de pago por servicios ambientales. En el Chocó biogeográfico, región con alta biodiversidad y elevadas tasas de deforestación, la información cuantificada sobre el potencial de almacenamiento de carbono en SAF con cacao es aún limitada. **Objetivo**. Cuantificar el carbono almacenado en la biomasa total de un SAF de cacao con especies leñosas perennes en la vereda Lobo, Cértegui (Chocó), como insumo para la valoración de los servicios ecosistémicos asociados al almacenamiento de carbono. **Métodos**. El estudio se desarrolló en una finca ubicada a 124 m.s.n.m., coordenadas 05°22'59,1'' N y 076°33'31,8'' W. Se evaluó el 100% de los individuos presentes en una parcela de 0,65 ha que conservaba la asociación entre cacao con nueve años de establecimiento y cinco especies leñosas perennes. Se realizó censo total de individuos, registrando diámetro a la altura del pecho (DAP) en las especies leñosas y diámetro a 30 cm del suelo ($D_{30}$) en el cacao, así como altura total. La biomasa aérea y subterránea del cacao y los árboles de sombra se estimaron con ecuaciones alométricas. El carbono almacenado se calculó aplicando una fracción de 0,5 sobre la biomasa total, y el dióxido de carbono equivalente ($CO_2e$) multiplicando el carbono por el factor 3,67. Se aplicaron pruebas de Kruskal-Wallis y Mann-Whitney para el análisis estadístico, y análisis de componentes principales (PCA) para evaluar la variabilidad estructural del sistema**. Resultados**. El SAF presentó una composición florística de cinco especies pertenecientes a cinco familias botánicas: *Theobroma cacao* (190 individuos), *Bactris gasipaes*, *Inga edulis*, *Persea americana* y *Chrysophyllum cainito*. La biomasa total estimada fue de 8,68 Mg en 0,65 ha (13,41 Mg $ha^{-1}$). La prueba de Kruskal-Wallis evidenció diferencias significativas entre especies para DAP, altura, biomasa y carbono ($p < 0,05$). El PCA mostró que el DAP y la biomasa explicaron el 74,3% de la varianza estructural del sistema (CP1). El sistema almacenó 4,34 Mg de carbono en 0,65 ha, correspondientes a 6,70 Mg C $ha^{-1}$, y 15,93 Mg de $CO_2e$ (24,60 Mg $CO_2e$ $ha^{-1}$). *Theobroma cacao* y *Bactris gasipaes* concentraron el 69,74 % del $CO_2e$ total. La tasa de fijación de carbono del cacao fue de 0,18 Mg C $año^{-1}$. **Conclusiones**. Los SAF de cacao con especies leñosas perennes en la vereda Lobo representan sumideros reales de carbono y gases de efecto invernadero. Los resultados aportan bases técnicas para incorporar estos sistemas en esquemas de valoración de servicios ecosistémicos y pago por servicios ambientales, y demuestran que la inclusión de más especies leñosas de mayor porte potenciaría sustancialmente el almacenamiento de carbono a mediano y largo plazo.

**Palabras Clave:** biomasa, ecuaciones alométricas, dióxido de carbono equivalente.

**Keywords:** biomass, allometric equations, carbon dioxide equivalent.

# Follaje de remolacha *Beta vulgaris* como alternativa forrajera. Caracterización del rendimiento en asocio con chicalá *Tecoma stans* en un arreglo de cultivo en callejones con chicalá (Tecoma stans) en la sabana de Bogotá, Colombia

## *Beet Beta vulgaris foliage as a forage alternative: Characterization of yield in association with chicalá (Tecoma stans) in an alley cropping system on the Bogotá savanna, Colombia.*

Juan M. Mora Rodriguez [1], Vandreé Julian Palacios Bucheli [2] y Danny W. Sanjuanelo [3]

[1] Estudiante, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA, Bogotá; [2] Docente, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA, Bogotá; [3] Docente, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA, Bogotá.

juan.mmora@udca.edu.co

**Resumen**

Colombia por su gran vocación de producción ganadera demanda pasturas que implican extensiones de tierra considerables. La producción de forrajes se presenta como una alternativa para la alimentación animal. La presente investigación se enfoca en caracterizar el rendimiento del follaje a nivel de planta y por unidad de superficie del cultivo de remolacha (*Beta bulgaris*) con fines forrajeros en un sistema agroforestal de cultivo en callejones bajo enfoque de producción agroecológica. El estudio se realizó en la sede Oriental de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, en la zona norte de la ciudad de Bogotá. La especie chicalá (*Tecoma stans*) se adoptó como componente leñoso del arreglo de cultivo en callejones en el año 2022, la distancia de siembra de los individuos fue de 0,45 x 0,45 m. El componente leñoso se mantiene a una altura aproximada de 1,50 m por medio de podas. El cultivo de remolacha se estableció en febrero de 2025 a una distancia a la línea de leñosos de 1,49 m. El diseño metodológico se fundamentó en la observación, recurriendo a un diseño cruzado, descriptivo y de estudio de caso. Se estableció una parcela demostrativa como un único tratamiento, la parcela tuvo una longitud de 18,3 m por 1 m de ancho. La parcela se dividió en cuatro secciones de 4,6 m de largo por 1 m de ancho aproximadamente, se sembraron aproximadamente 114 plántulas por sección a una densidad de 20 cm por 20 cm, en total se establecieron 457 plántulas en toda la parcela demostrativa. Se realizaron labores de preparación de terreno, siembra, fertilización y manejo fitosanitario. La cosecha se realizó el 10 de junio de 2025, se seleccionaron 5 plantas al azar en cada sección a las cuales se les tomó el peso en fresco por separado. Posteriormente, cada sección fue cosechada para obtener el peso fresco del follaje de todos los individuos. Para el análisis de la información se recurrió a estadística descriptiva. El rendimiento total de la producción por secciones obtenido fue de 0,9, 0,8, 0,9 y 0,8 Ton/ha en las secciones 1, 2, 3 y 4 respectivamente. El promedio del rendimiento total del follaje de remolacha fue de 0,8 Ton/ha. En cuanto al rendimiento por planta, la sección uno tuvo un rendimiento promedio de 168,75 Ton/ha, la sección dos 25,9 Ton/ha, la sección tres 28,3 Ton/ha y la sección cuatro 29,6 Ton/ha, para un rendimiento promedio de 29 Ton/ha. El cultivo del follaje de remolacha es una buena alternativa forrajera para la alimentación de ganadería, la cual se puede implementar en sistemas silvopastoriles o silvoagrícolas en asocio con Tecoma stans, una especie leñosa de rápido crecimiento para su implementación y de buen rebrote que permite su manejo permanente.

**Palabras Clave**: Distancia de siembra, Sistemas silvoagricolas, sistemas silvopastoriles, Teocoma stans, Beta vulgaris

**Keywords**: Planting distance, agrosilvicultural systems, silvopastoral systems, Teocoma stans, Beta vulgaris

.

# Comportamiento ecofisiológicos de un sistema agroforestal de Theobroma cacao L. en la Amazonia colombiana

# Ecophysiological behavior of a Theobroma cacao L. agroforestry system in San José del Guaviare, Colombia

Wismar A. Pino Bejarano[1], Henry Mavisoy Muchavisoy[2], Yamith E. Burgos Ávila[2]

[1] Maestría en Agroforestería Tropical, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Bogotá, Colombia; [2] Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Bogotá, Colombia

wpino@udca.edu.co

**Resumen**

La capacidad de los sistemas agroforestales con cacao (Theobroma cacao L.) para acumular y almacenar carbono en condiciones reales de trópico húmedo, en el departamento del Guaviare (Amazonia colombiana) ha sido insuficientemente descrita. Con ese objetivo se estudió la biomasa aérea y tasa de asimilación de carbono de un sistema agroforestal con cacao (Theobroma cacao L.) con 13 años de establecimiento, ubicado en la vereda El Refugio, municipio de San José del Guaviare. Para lo anterior se censaron en tres parcelas temporales de 400 m² los individuos con DAP ≥ 10 cm; sobre la información obtenida se usaron ecuaciones alométricas para estimar biomasa, y el carbono almacenado se calculó siguiendo la fracción de 0,5 propuesta por el IPCC (2003). La biomasa aérea total obtenida fue de 75 Mg $ha^{-1}$. El 92 % del carbono total almacenado fue acumulado por las especies acompañantes: Jacaranda copaia (35 %), Miconia trinervia (32 %) e Inga sp. (25%). A pesar de alcanzar una densidad poblacional de 1.200 individuos $ha^{-1}$, el cultivo de cacao solamente aportó el 8 % del total almacenado, lo que indica que la estructura arbórea acompañante tiene un peso determinante en la capacidad secuestradora del arreglo. El total almacenado fue de 26,60 ± 2,61 Mg C $ha^{-1}$; valor equivalente a evitar la emisión a la atmósfera de 97,6 Mg $CO_2e$. La tasa anual de asimilación del sistema fue de 1,33 ± 0,68 Mg C $ha^{-1}$ $año^{-1}$. Inga sp. presentó la mayor tasa anual acumulando C (0,9 Mg C $ha^{-1}$ $año^{-1}$) seguido por Cariniana pyriformis (0,6 Mg C $ha^{-1}$ $año^{-1}$) y Jacaranda copaia (0,5 Mg C $ha^{-1}$ $año^{-1}$). Dentro del componente cacao el clon ICS 95 presentó la mayor tasa anual acumulada de carbono con aproximadamente 0,05 Mg C $ha^{-1}$ $año^{-1}$; diferencia que da cuenta de la variabilidad entre materiales genéticos frente a la acumulación de biomasa. Los valores encontrados son coherentes con lo reportado para sistemas similares en el piedemonte amazónico colombiano y dan cuenta que variables como la edad del sistema, composición arbórea y arquitectura del dosel inciden directamente sobre el carbono secuestrado. A los 13 años de establecimiento una capacidad secuestradora a esta magnitud respalda la pertinencia del ingreso de estos arreglos productivos dentro de esquemas Pago por Servicios Ambientales en el Guaviare.

**Palabras clave:** biomasa, microclima, clones

**Keywords:** biomass, microclimate, clones

# Diversidad, composición y estructura en sistemas agroforestales tradicionales del municipio de Lloró, Chocó, Colombia

# Diversity, composition and structure in traditional agroforestry systems of the municipality of Lloró, Chocó, Colombia

Chaira M, Rivas Mendoza[1]; Libia E, Rivas Mosquera[1]; Leidy I, Hinestroza Cordoba[2]; Henry H, Medina Arroyo[2]; Jhon J, Torres Torres[2]

[1]Estudiante del Programa de Ingeniería Agroforestal, Universidad Tecnológica del Chocó, Colombia
[2]Docente de tiempo completo, Programa de Ingeniería Agroforestal, Universidad Tecnológica del Chocó, Colombia

chaira.rivas707@utch.edu.co

**Resumen**

**Introducción:** Los sistemas agroforestales tradicionales (SAT) del Chocó biogeográfico representan una alternativa de conservación de la biodiversidad y aprovechamiento de las especies vegetales. El municipio de Lloró, ubicado en la subregión del Atrato, alberga comunidades afrodescendientes e indígenas con saberes ancestrales sobre uso y manejo de la composición vegetal nativa de la región. Estos sistemas productivos se componen de una alta diversidad vegetal. Sin embargo, existe muy poca información disponible que documente la diversidad, composición, estructura y usos asociados de las especies presentes en los sistemas, lo que limita la creación de rutas de manejo y conservación que mejoren la seguridad alimentaria de las comunidades rurales. **Objetivo:** Determinar la diversidad, composición y estructura de los sistemas agroforestales tradicionales. **Métodos:** Se evaluaron seis sistemas agroforestales tradicionales en las veredas Aguacate, San Vicente y Boraudo. La evaluación consistió en ubicar en el centro de los sistemas agroforestales una cuerda de forma vertical, y luego desde el punto de inicio se establecieron estacas cada 50 m con ancho variable, el cual dependió de las características del terreno. Se calcularon parámetros estructurales y de diversidad, incluyendo el índice de Shannon-Weaver (H'), y de Simpson (D), la abundancia, la frecuencia y la dominancia. La identificación taxonómica se realizó con ayuda de los propietarios para documentar nombres vulgares y usos. **Resultados:** Se registro un total de 2.048 individuos distribuidos en 28 familias botánicas, 46 géneros y 67 especies. Las familias más representativas fueron Lecythidaceae, Rubiaceae y Fabaceae. Las especies más abundantes fueron *Gustavia superba (*Kunth) O. Berg (Pacó), *Alibertia patinoi* Cutrec (Borojó) e *Inga edulis* Mart (Guama). Las especies registradas se clasificaron en categorías de uso, las cuales incluyeron especies maderables, alimenticias, medicinales y artesanales. Los índices de Shannon (H': 2,859-2,904), Simpson (1-D: 0,89) y equidad (J: 0,693-0,760) indican una diversidad media-alta, dominancia moderada y distribución relativamente equitativa entre las especies registradas. **Conclusiones:** Los sistemas agroforestales del municipio de Lloró presentan alta riqueza florística. La variedad de especies agrícola, y de uso multipropósito en arreglos, demuestra la importancia de estas prácticas para la preservación de los agroecosistemas, la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible de la Región.

**Palabras Clave:** Diversidad, Composición, Chocó biogeográfico, Sistemas agroforestales.

**Keywords:** Diversity, Composition, Biogeographic Chocó, Agroforestry Systems

# Caracterización nutricional de especies vegetales con potencial alimenticio en sistemas agroforestales de Lloró, Chocó

# Nutritional Characterization of Plant Species with Food Potential in Agroforestry Systems of Lloró, Chocó, Colombia

Libia E. Rivas Mosquera[1]; Chaira M. Rivas Mendoza[1]; Leidy I. Hinestroza Córdoba[1]; Henry H. Medina Arroyo[1]; Jhon J. Torres Torres[1]

[1]Facultad de Ingeniería, Programa Agroforestal, Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba", Quibdó

libia.rivas599@utch.edu.co

**Resumen**

El Chocó posee una alta diversidad de especies vegetales con potencial alimenticio presentes en sistemas agroforestales; sin embargo, existe poca información sobre su valor nutricional, por lo cual se determinó la composición nutricional de especies vegetales con potencial alimenticio identificadas en sistemas agroforestales del municipio de Lloró, Chocó. Se recolectaron muestras de diez especies: popocho (*Musa exótica* R. V*)*, zapallo (*Cucúrbita moschata* D.) con y sin semilla, lulo (*Solanum sessiliflorum* D.), árbol del pan (*Artocarpus altilis* F.), pacó *(Gustavia superba* (Kunth) O. Berg*,* chontaduro (*Bactris gasipaes* K.), almirajò (*Patinoa almirajo* C.), primitivo *(Musa acuminata* C.) y achín (*Colocasia esculenta* L.). Las muestras fueron desinfectadas, empacadas al vacío y almacenadas a 4°C hasta su procesamiento. La composición proximal se determinó mediante métodos estandarizados de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC) evaluando contenido de humedad, cenizas, grasa, fibra, proteína y carbohidratos. En cuanto al contenido de humedad el valor más alto se presentó en zapallo sin semilla (90,7 ± 0,00 %), seguido zapallo con semilla (89,7 ± 0,00%) y lulo (89 ± 0,00%), mientras que el árbol del pan registró el menor valor (7,2 ± 0,00%). El zapallo sin semilla obtuvo el mayor contenido de cenizas (10,7 ± 0,082%) y el chontaduro el menor (2,1 ± 0,078%). El mayor contenido de grasa se evidencio en pacó (16,8 ± 0,00%) y chontaduro (13,9 ± 0,00%). El achín (21,5 ± 0,00%) y el lulo (15,6 ± 0,00%) reportaron el mayor contenido de fibra. Los contenidos más altos de proteína se encontraron en zapallo con semilla (12,11 ± 0,00%), zapallo sin semilla (10,4 ± 0,00%), árbol del pan (8,9 ± 0,00%), pacó (8,8 ± 0,00%) y achín (8,4 ± 0,00%). Los carbohidratos fueron predominantes en popocho (73,4 ± 0,00%), lulo (71,5 ± 0,00%) y zapallo sin semilla (68,2 ± 0,00 %). En relación a los minerales, el primitivo registró las mayores concentraciones de calcio (427,86 mg/100g), zinc (19,95 mg/100g), hierro (9,63 mg/100g) y magnesio (341,24 mg/100g); mientras que el zapallo sin semilla (5,061 mg/100g) y achín (5,055 mg/100g), sobresalieron en potasio. Las especies evaluadas presentan un importante potencial nutricional y energético. El primitivo y el zapallo destacan como fuentes de minerales, el pacó y el chontaduro como fuentes de grasa, y el achín, como fuente de fibra. Estos resultados respaldan su aprovechamiento en programas de seguridad alimentaria y el desarrollo de productos alimenticios para las comunidades del Pacífico colombiano.

**Palabras clave:** agroforestería, biodiversidad alimentaria, composición proximal.

**Keywords:** agroforestry, food biodiversity, proximate composition

# Distancia de siembra adecuada desde el componente leñoso al cultivo de zanahoria variedad Chantenay en un arreglo silvoagrícola de cultivo en callejones en la sabana de Bogotá, Colombia

# Alley cropping arrangement suitable distance from the woody component to the carrot crop in Bogotá, Colombia

Vandreé Julián Palacios Bucheli [1], Danny Wilson Sanjuanelo Corredor [2]

[1]Profesor del Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Bogotá; [2]Profesor del Programa de Ciencias, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Bogotá

vpalacios@udca.edu.co

**Resumen**

La adopción del componente leñoso dentro de la producción agraria sigue siendo un reto para el sector, las competencias por espacio, luz, agua y nutrientes continúan siendo una gran limitante en la implementación de la agroforestería. Frente a este panorama la presente investigación se enfoca en determinar la distancia de siembra apropiada (0,5 m o 2,0 m) desde el componente leñoso hasta el cultivo, en este caso zanahoria bajo producción agroecológica, en un arreglo silvoagrícola de cultivo en callejones. Por lo tanto, se evaluó el efecto que tiene el arreglo de cultivo en callejones con zanahoria por medio de la producción de biomasa y la producción de la raíz por calidades. El estudio se realizó en las instalaciones de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, sede Oriental, en la sabana de Bogotá. El diseño experimental involucró bloques al azar con un tratamiento fijo de distancia a la parcela al borde con dos niveles 0,5 y 2,0 m. El componente leñoso se implementó en sentido oriente occidente en el año 2022 con la especie *Tecoma stans*, los individuos se sembraron a una distancia de 0,45 x 0,45 m y una vez alcanzaron una altura de 1,50 m se han mantenido con podas apicales para mantener los leñosos siempre a esa altura, evitando competencia con el área de cultivo. Posteriormente, en el primer semestre del año 2024 se estableció el cultivo de zanahoria en dos camas 18,50 m de largo por 1,0 m de ancho. El establecimiento se realizó por medio de semillas variedad Chardonay. Una vez completado el ciclo productivo, cada una de las camas se dividieron en cuatro secciones, y se cosechó la producción, pesando la biomasa total y la producción de la zanahoria por calidades (primera, segunda y descarte). La información se analizó a través de un modelo estadístico lineal de efectos mixtos con estructura anidada y repeticiones de la forma. Los resultados indican que a pesar de que la biomasa es mayor a la distancia de 2,0 m tanto en primera (2,96 kg) como en segunda calidad (1,47 kg) que la biomasa a los 0,5 m de distancia (2,28 kg 1era calidad y 1,23 kg 2da calidad), la biomasa no se ve afectada por la cercanía al componente leñoso (0,5 m 1era calidad versus 2,0 m 1era calidad: p-value 0,7163). En cuanto al rendimiento el comportamiento es similar a la biomasa, a 2,0 m de distancia del componente leñoso, el rendimiento del cultivo es mayor que a 0,5 m (2,0 m 1ra calidad 1,90 kg y 2da calidad 0,88 kg vs 0,5 m 1ra calidad 1,49 kg y 2da calidad 0,76 kg (p-value 0,6838)), sin embargo, desde el punto de vista estadístico estas diferencias carecen de significancia. El cultivo de zanahoria puede implementarse a una distancia de 0,5 m desde el componente leñoso sin afectar la productividad de biomasa o raíz. El agricultor debe tener en cuenta que la productividad de su cultivo no se verá afectada con el manejo adecuado del componente leñoso y con una adecuada distancia de siembra, en este caso 0,5 m. Al mismo tiempo, va a obtener servicios ecosistémicos de provisión, regulación, así como culturales, al implementar agroforestería en su unidad productiva.

**Palabras Clave:** rendimiento, silvoagrícola, *Tecoma stans*

**Keywords:** agrisilvicultural, *Tecoma stans,* yield

# Cocoa based agroforestry systems enhance carbon storage in deep horizons of Amazonian soils

# Los sistemas agroforestales basados en el cacao mejoran el almacenamiento de carbono en los horizontes profundos de los suelos amazónicos.

Juan Carlos Suárez Salazar[1]; Esneider Almario-Cabrera[2]; Patrick Lavelle[3]

*[1]Docente de tiempo completo, Programa de Ingeniería Agroecológica, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones Amazónicas CIMAZ Macagual, Grupo de Investigaciones Agroecosistemas y Conservación en Bosques Amazónicos-GAIA, Universidad de la Amazonia, Florencia; [2]Asistente de investigación, Programa de Ingeniería Agroecológica, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones Amazónicas CIMAZ Macagual, Universidad de la Amazonia, Florencia; [3]Docente emérito, Institute of Ecology and Environmental Sciences IEES, Université Paris-Sorbonne Nouvelle, Paris*

*ju.suarez@udla.edu.co*

**Resumen**

Ecosystem services in agroforestry systems (Carbon sequestration services). The rapid loss of forests and the degradation of grasslands in the Colombian Amazon are reducing carbon sequestration and threatening ecosystem services. Cocoa-based agroforestry systems (SAFc) have the potential to increase carbon storage in areas of the Amazon that have been degraded by pastures; however, little is yet known about the effects of SAFc on the composition and distribution of carbon stocks below a depth of 30 cm —particularly at soil depths greater than 1 m—. The objective of this study was to address this knowledge gap by measuring carbon concentration, stocks, and their distribution across fractions of decreasing lability at various soil depths —up to 150 cm— in cocoa-based agroforestry systems in a deforested Amazonian landscape in Colombia. Each species of shade tree (Abarco *Cariniana piriforme*, Capirón *Calycophyllum spruceanum*, Caracolí *Anacardio excelsum,* and Huito *Genipa americana*) was independently combined with cacao. The performance of these systems was compared using mature forests and adjacent degraded pastures as a reference. Using a randomized block design (n = 9), soil carbon content was assessed at five depths (0–30, 30–60, 60–90, 90–120, and 120–150 cm). Carbon fractions were extracted using acidic solutions of increasing concentrations via a modified version of the Walkley-Black method and were classified accordingly into very labile (CVL), labile (CL), less labile (CLL), and non-labile (CNL); active and passive pools, lability and recalcitrance indices, accumulation and management indices, and reserves (Mg C $ha^{-1}$) were calculated; and the data were analyzed using mixed-effects models. The COS concentration varied by fraction and depth for each land use ($P < 0.05$), with the order of carbon accumulation in the different fractions to a depth of 150 cm being: CVL > CNL > CL > CLL (19.8 ± 1.3, 17.2 ± 1.2, 11.7 ± 0.9, and 6.1 ± 0.4 g $kg^{-1}$, respectively). The C stock up to 150 cm was highest in the forest (209.6 ± 3.5 Mg C $ha^{-1}$) and decreased from Caracolí (190.2 ± 6.2 Mg C $ha^{-1}$) to Abarco (162.9 ± 2.9 Mg C $ha^{-1}$), Huito (150.5 ± 4.6 Mg C $ha^{-1}$), Capirón (137.1 ± 4.5 Mg C $ha^{-1}$), cacao in full sun (135.6 ± 3.5 Mg C $ha^{-1}$), and pastures (110.3 ± 3.9 Mg C $ha^{-1}$). The labile fractions decreased with depth, while the recalcitrance indices (RI1, RI2) increased in the 90–150 cm horizons, indicating greater subsurface stability. Forests and Caracolí are the land uses with the highest Carbon Reserve Index (CPI) and Carbon Management Index (CMI) for soil carbon. During the 15-year experimental period, cocoa-based agroforestry systems

increased soil carbon content to levels up to 2.73 times that of the initial degraded pasture, approaching the performance of the forest (× 2.96). Huito and Caracolí shade trees were the most efficient at storing carbon in deep soil layers compared to degraded grasslands; the choice of shade trees significantly influences soil carbon accumulation and stability, which has implications for restoration and climate mitigation strategies in the Colombian Amazon.

**Palabras clave:** Árboles de sombra; Fracciones de carbono orgánico oxidable; Profundidad del suelo

**Keywords**: Shade trees; Oxidizable organic carbon fractions; Soil depth

# Evaluación de un sistema agroforestal cacao-tangare sobre las propiedades químicas del suelo en Tumaco, Colombia

# Evaluation of a cacao-tangare agroforestry system regarding soil chemical properties in Tumaco, Colombia.

Beto Moreno[1]; William Ballesteros Possù[2]

[1]Investigador, Agrosavia, Bogotá; [2]Investigador, Universidad de Nariño, Pasto

wballesterosp@gmail.com

**Resumen**

**Introducción:** El uso de sistemas agroforestales (SAF) representa una estrategia prometedora para fortalecer la sostenibilidad agrícola. En la región de Tumaco, los SAF que asocian cacao con especies forestales como tangare (*Carapa guianensis*) pueden mejorar la fertilidad del suelo y promover prácticas agrícolas sostenibles en comunidades afrodescendientes que dependen económicamente del cacao. En Tumaco hay muy poca información sobre el efecto del sistema agroforestal cacao–tangare en la fertilidad del suelo. **Objetivo:** Evaluar la dinámica de las propiedades químicas del suelo bajo el sistema agroforestal cacao–tangare, para determinar su influencia sobre la calidad edáfica y su potencial en la sostenibilidad agrícola del territorio. **Metodología:** El estudio se llevó a cabo en el Centro de Investigación El Mira – AGROSAVIA. Se empleó un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos definidos según la distancia respecto al surco de tangare (1.5 m, 4.5 m, 7.5 m y 10.5 m), con tres repeticiones. Durante cinco años (2014, 2018, 2019, 2020, 2022), se recolectaron y analizaron muestras de suelo para medir variables como materia orgánica, pH, fósforo, potasio, calcio, magnesio, aluminio, y capacidad de intercambio catiónico (CICE). **Resultados:** Se observaron diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de las variables edáficas evaluadas, particularmente en materia orgánica, fósforo y potasio, dependiendo de la distancia al tangare. El sistema mostró un efecto positivo sobre la capacidad de intercambio catiónico, saturación de calcio y magnesio, así como una reducción en la saturación de aluminio, lo que sugiere una mejora en la fertilidad del suelo y condiciones favorables para el cultivo de cacao. **Conclusiones:** El SAF cacao–tangare constituye una alternativa viable para mejorar la calidad del suelo en regiones del trópico húmedo, promoviendo sistemas agrícolas más resilientes y sostenibles. Su implementación contribuye a la conservación de suelos, reducción del uso de agroquímicos, y fortalecimiento de la seguridad alimentaria en comunidades rurales.

**Palabras clave:** agroforestería, cacao, tangare, fertilidad del suelo, sostenibilidad.

**Keywords:** agroforestry, cacao, tangare, soil fertility, sustainability.

# Evaluación del impacto del sistema agroforestal cacao-chontaduro sobre las propiedades químicas del suelo en Tumaco, Colombia

# Evaluation of the impact of the cacao-chontaduro agroforestry system on soil chemical properties in Tumaco, Colombia.

Beto Moreno[1]; William Ballesteros Possù[2]

[1]Investigador, Agrosavia, Bogotá; [2]Investigador, Universidad de Nariño, Pasto

morenoagroforestal@gmail.com

**Resumen**

**Introducción:** Los sistemas agroforestales (SAF) representan una estrategia productiva sostenible que integra especies agrícolas y forestales, optimizando el uso del suelo y mejorando sus propiedades. En Tumaco, región con predominancia de comunidades afrodescendientes y fuerte dependencia del cultivo de cacao, no se conoce el efecto de la incorporación de especies como el chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B. & K.) y cacao en las propiedades químicas del suelo. **Objetivo:** Evaluar la dinámica de las propiedades químicas del suelo bajo un sistema agroforestal compuesto por cacao (Theobroma cacao L.) y chontaduro en condiciones agroecológicas del municipio de Tumaco, Nariño. **Metodología:** El estudio se desarrolló durante cinco años (2014, 2018, 2019, 2020 y 2022) en el Centro de Investigación El Mira (AGROSAVIA). Se aplicó un diseño experimental de bloques completos al azar con dos tratamientos según la distancia al chontaduro (1.5 m y 4.5 m), evaluando variables como pH, materia orgánica, fósforo, potasio, calcio, magnesio, CICE y saturaciones catiónicas. El análisis estadístico incluyó ANOVA y prueba de Tukey con una confianza del 95%. **Resultados:** La materia orgánica mostró diferencias significativas con respecto al tratamiento ($p=0.0173$) y al año ($p=0.003$), indicando que la cercanía al chontaduro y el tiempo influyen en su contenido. Variables como fósforo, potasio y CICE también exhibieron variaciones temporales relevantes. La interacción tratamiento*año evidenció efectos significativos en la dinámica de potasio y saturación de potasio. Estos resultados resaltan el papel del sistema agroforestal en el reciclaje de nutrientes y la mejora de la fertilidad del suelo. **Conclusiones:** El sistema agroforestal cacao–chontaduro promueve mejoras significativas en la calidad química del suelo, favoreciendo su sostenibilidad y productividad. Esta asociación representa una estrategia agroecológica viable para fortalecer la producción de cacao en Tumaco, con potencial de replicabilidad en contextos similares del trópico húmedo.

**Palabras clave:** agroforestería, cacao, chontaduro, suelo, nutrientes, sostenibilidad, Tumaco

**Keywords:** agroforestry, cacao, chotaduro, soil fertility, sustainability

# Cuantificación del carbono almacenado en la biomasa total de un sistema agroforestal de cacao y chontaduro en Cértegui, Chocó.

# Quantification of carbon stored in the total biomass of a cacao and peach palm agroforestry system in Cértegui, Chocó

Angelly D Cordoba Martinez[1]; Kevin A Renteria Renteria[1]; Víctor E. Mena Mosquera[2]; Jhon J. Torres Torres[3]

[1]Estudiante de Ingeniería Agroforestal, Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba", Quibdó; [2] ,Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba", Quibdó; [3], Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba", Quibdó;

adiyanamartinez394@gmail.com

**Resumen**

**Introducción:** Los sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) y chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth) representan una alternativa sostenible de uso del suelo, con potencial para contribuir al almacenamiento de carbono y a la conservación de los ecosistemas. En el Chocó biogeográfico, región reconocida por su alta biodiversidad, la información cuantificada sobre el carbono almacenado en arreglos agroforestales que integran estas especies es limitada, lo que evidencia la necesidad de generar conocimiento sobre sus beneficios ambientales. **Objetivo:** Cuantificar el carbono almacenado en la biomasa total de un SAF de chontaduro *(Bactris gasipaes)* y cacao *(Theobroma cacao L)* en la vereda Lobo, Cértegui (Chocó) Como base para la estimación de los servicios ecosistémicos relacionados con la captura y almacenamiento de carbono. **Métodos:** Este estudio se desarrolló en una finca ubicada a 124 m s. n. m. con coordenadas 05°22'59,1'' N y 076°33'31,8'' W, en un sistema agroforestal cacao-chontaduro con cuatro años de establecimiento y un área de 1,5 ha; Se establecieron dos parcelas de 20×50 m bajo un diseño de Bloques Completos al Azar, equivalentes al 10 % del área total. Se realizó un muestreo total de los individuos presentes, registrando el diámetro a 30 cm del suelo en las plantas de cacao y la altura total en los individuos de chontaduro. La biomasa aérea se estimó mediante ecuaciones alométricas específicas para cada especie, mientras que la biomasa radicular se calculó mediante una ecuación de uso general, el carbono almacenado se determinó a partir de la biomasa total utilizando una fracción de carbono de 0,5, seguido a ello se estimó la tasa de fijación de carbono; Finalmente se estimó el $CO_2$ equivalente mediante un factor de conversión de 3,67 y se aplicó estadística descriptiva para el análisis de los datos. **Resultados:** El sistema agroforestal evaluado presentó una biomasa total de 7,8 Mg $ha^{-1}$, donde el cacao registró el mayor aporte con 5,6 Mg $ha^{-1}$ (71,8 %), mientras que el chontaduro contribuyó con 2,2 Mg $ha^{-1}$ (28,2 %). El carbono almacenado alcanzó 11,9 Mg $ha^{-1}$, distribuyéndose principalmente en cacao (8,5 Mg $ha^{-1}$) y chontaduro (3,4 Mg $ha^{-1}$). La tasa de fijación de carbono total fue de 3,05 Mg $ha^{-1}$, con valores de 2,17 Mg $ha^{-1}$ y 0,88 Mg $ha^{-1}$ para cacao y chontaduro, respectivamente. Asimismo, la captura total estimada fue de 14,19 Mg $CO_2e$ $ha^{-1}$, destacándose el cacao con 10,12 Mg $ha^{-1}$ (71,3 %), lo que evidencia su mayor contribución al almacenamiento de carbono y la mitigación del cambio climático. **Conclusión:** Los sistemas agroforestales de cacao y chontaduro evaluados en la vereda Lobo constituyen reservorios importantes de carbono y $CO_2e$, destacándose el cacao como la especie con mayor contribución al almacenamiento y fijación de carbono. Estos resultados generan información base para la valoración de servicios ecosistémicos asociados a la captura de carbono y evidencian el potencial de estos sistemas como estrategia de mitigación del cambio climático y de manejo sostenible del paisaje en el Chocó biogeográfico.

**Palabras Clave**: ecuaciones alométricas, biomasa, dióxido de carbono equivalente.

**Keywords:** biomass, allometric equations, carbon dioxide equivalent.

# Incidencia del sistema de fertirriego en agroecosistemas cafeteros, Nariño

# Impact of the fertigation system on coffee agroecosystems, Nariño

Iván Andrés Delgado Vargas[1]; Gloria Cristina Luna Cabrera[1]

[1] Docente Investigador, Grupo PIFIL, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Nariño, Pasto

ivan.delgado@udenar.edu.co

**Resumen**

El cultivo de café (*Coffea arabica* L.) representa uno de los productos agrícolas más importantes a nivel mundial y nacional, en el Departamento de Nariño trasciende al ser el generador de transformaciones económicas, sociales y ambientales, siendo agroecosistemas tradicionales bajo diversos doseles de sombra; dicho sistema productivo se ve influenciado por factores externos como la disponibilidad hídrica, las condiciones edafoclimáticas y las prácticas de manejo. Frente a los desafíos del cambio climático, que incrementa la variabilidad hídrica, aunado a los eventos extremos, surge la necesidad de implementar estrategias de adaptación que permitan mejorar la resiliencia de los sistemas cafeteros. El objetivo de la investigación es presentar dos estudios de caso con el fin de evaluar la producción, analizar la relación entre la variabilidad climática, los niveles de humedad del suelo, las características edáficas, junto con el fin de diseñar un sistema de fertirriego como estrategia de adaptación y mitigación frente al cambio climático en agroecosistemas cafeteros en Nariño. El estudio de desarrollo en dos ecotipos cafeteros de Nariño, en los municipios de Buesaco y Sandoná. Para la evaluación de la producción y la calidad del café se consideró variables de rendimiento por área, volumen de recolección y parámetros de calidad física. Se determinó las propiedades edafoclimáticas, balance hídrico, y análisis climático. Además, se evaluó algunas propiedades fisiológicas y la producción de café. LosComo resultados evidenciaron en cuanto ade la dinámica climática, se identificó un patrón bimodal de precipitación en la zona de estudio, caracterizado por dos periodos lluviosos y dos periodos secos bien definidos, siendo especialmente crítico el déficit hídrico registrado entre los meses de junio y agosto, bajo un régimen bimodal, siendo especialmente crítico el déficit hídrico registrado entre los meses de junio y agosto; se identificaron eventos extremos asociados al fenómeno de La Niña, los cuales generan efectos negativos tanto por exceso como por déficit de agua, afectando la floración, el desarrollo vegetativo y la productividad del cultivo. En cuanto a las características del suelo presenta una textura franco a franco-arcillosa, pH ácido, bajos contenidos de materia orgánica y nitrógeno, lo que indica una fertilidad limitada y la necesidad de implementar aportes y prácticas de manejo orgánico; se evidenció una recuperación del agroecosistema bajo dosel de sombra con fertirriego en las variables promedio área foliar, número de nudos por rama, yemas florales, flores abiertas. La investigación demuestra que la integración de información climática, edáfica y biológica permite diseñar estrategias de manejo más eficientes como el fertirriego, contribuyendo a mejorar la adaptación del cultivo de café frente al cambio climático. Este enfoque integral fortalece la sostenibilidad de los sistemas productivos cafeteros y ofrece alternativas viables para optimizar el uso del agua y mejorar la productividad en contextos de alta variabilidad climática.

**Palabras clave:** *Coffea arabica* L.; adaptación; cambio climático.

**Keywords:** *Coffea arabica* L.; adaptation; climate chage.

# Evaluar indicadores sensibles de calidad y salud del suelo (físico, químico y biológico) en los tres (3) sistemas agroforestales de cacao.

# Evaluate sensitive indicators of soil quality and health (physical, chemical, and biological) in three (3) cocoa agroforestry systems.

Jesús Geovanny Solarte Guerrero[1]; Jorge Fernando Navia Estrada[1]

[1]Docente de tiempo completo, Universidad de Nariño, Pasto

solarteg@hotmail.com

**Resumen**

Esta investigación se desarrolló en el municipio de Tumaco, ubicado en el Pacífico biogeográfico nariñense sobre suelos de orden entisoles clasificados taxonómicamente como *Typic Tropofluvents* de acuerdo con el Soil Taxonomy (USDA, 2014). El objetivo fue evaluar los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo; así como la respiración microbiana en tres sistemas agroforestales de cacao (tradicional, semitecnificado y tecnificado), mediante muestreo a dos profundidades (0–10 y 10–20 cm). El análisis estadístico se realizó en el software R Studio versión 4.2. Como resultados se obtuvo que los indicadores químicos como pH, P, CIC, Ca, Mg, K, S y Al mostraron diferencias significativas entre sistemas, profundidades e interacciones. Además, el sistema tradicional presentó mejores condiciones edáficas, con pH (5.82), materia orgánica (3.58 %), CIC (25.23 $cmol^+ kg^{-1}$), Ca (12.59 $cmol^+ kg^{-1}$) y Mg (5.91 $cmol^+ kg^{-1}$); mientras que, el semitecnificado destacó en fósforo (P) y el tecnificado tuvo mayor acidez y contenido de Al. En cuanto a las propiedades físicas, se observaron diferencias significativas entre sistemas y profundidades, siendo el sistema tradicional con menor densidad aparente (1.28 $g/cm^3$), mayor porosidad (58.5 %) e infiltración (3.36 mm/h); el semitecnificado tuvo óptimo espacio poroso (27.4 %) y mayor agua disponible (28.3 %); mientras que, el tecnificado presentó mayor compactación. La capa superficial (0–10 cm) mostró mejor calidad física en todos los sistemas. En cuanto a los indicadores biológicos, la abundancia de macrofauna y mesofauna fue mayor en los sistemas tradicional y semitecnificado, con 2.272 y 1.728 $ind/m^2$ de macrofauna; y 1.296 $ind/m^2$ de mesofauna en el sistema tradicional. Aunque no hubo diferencias significativas en la riqueza de especies, el sistema tradicional presentó la mayor diversidad taxonómica, con 17 familias de macrofauna y 18 de mesofauna. La respiración del suelo varió significativamente entre sistemas y profundidades, siendo el sistema tradicional el que mostró actividad microbiana estable. Estos resultados evidencian que los sistemas agroforestales con manejo moderado y conservacionista, como el semitecnificado y el tradicional, favorecen mejores condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo, al mantener una mayor disponibilidad de nutrientes, mejor estructura y diversidad edáfica, lo que fortalece la sostenibilidad agroecológica; en contraste, el manejo intensivo reduce significativamente la calidad del suelo y limita su funcionalidad ecosistémica.

**Palabras clave:** Carbono orgánico, estabilidad de agregados, respiración del suelo, fauna edáfica, riqueza.

**Keywords:** Organic carbon, aggregate stability, soil respiration, soil fauna, richness.

# Dinámica edáfica multitemporal y productividad del cacao en sistemas tradicionales de Tumaco

# Multitemporal soil dynamics and cacao productivity in traditional systems of Tumaco

Diego Javier Pérez Ortega [1], Sara Daniela Rodríguez [2], Diego Andrés Muñoz Guerrero[3]

[1] Docente Investigador, departamento de Recursos Naturales y sistemas agroforestales, Universidad de Nariño, Pasto; [2] Investigadora, departamento de Producción y Sanidad Vegetal, Universidad de Nariño, Pasto; [3] Docente Investigador, departamento de Recursos Naturales y sistemas agroforestales, Universidad de Nariño, Pasto

diegoperez@udenar.edu.co

Resumen

Introducción: El cacao (Theobroma cacao L.) es un cultivo estratégico para el Pacífico colombiano, donde los sistemas tradicionales integran producción agrícola, sombra arbórea, conservación de humedad, regulación microclimática y manejo familiar. Sin embargo, la productividad del cacao en Tumaco está condicionada por la interacción entre fertilidad del suelo, variabilidad espacial, microclima, sanidad vegetal y prácticas agronómicas. En este contexto, el monitoreo edáfico multitemporal permite reconocer zonas críticas y orientar decisiones de manejo diferenciado en sistemas agroforestales tradicionales. Objetivo: Determinar las variables edáficas y microambientales más asociadas con la productividad del cacao en sistemas tradicionales de Tumaco, mediante caracterización espacial, análisis suelo-producción y evaluación multitemporal entre 2023 y 2025. Métodos: El estudio se desarrolló en cinco fincas tradicionales de cacao ubicadas en Tumaco, Nariño: La Quebrada, Las Bananeras, Río Fino, El Rosario y Mar Agrícola. En cada finca se estableció una parcela de 1.000 m² con 25 puntos de monitoreo, para un total de 125 puntos. Se consolidaron 4.500 registros mensuales obtenidos con sensores portátiles durante 2023, 2024 y 2025. Se evaluaron pH, conductividad eléctrica, humedad relativa, temperatura del suelo, luminosidad e indicadores relativos de N, P y K. Se aplicaron estadística descriptiva, pruebas de Kruskal-Wallis, semivariogramas, interpolación exploratoria, correlaciones, regresión parsimoniosa, análisis de componentes principales, clúster, prueba de Mann-Kendall y clasificación de zonas de manejo. Resultados: Los indicadores relativos de N, P y K presentaron muy alta heterogeneidad, con coeficientes de variación superiores a 67 %. El pH, la conductividad eléctrica y la humedad relativa mostraron dependencia espacial fuerte, mientras que la temperatura del suelo presentó dependencia moderada. La conductividad eléctrica fue la variable con mayor asociación exploratoria con la producción de cacao seco, con rho de Spearman = 0,759 y p = 0,080. La humedad relativa, el pH y la temperatura del suelo actuaron como variables complementarias para interpretar la condición edáfica y microambiental. Entre 2023 y 2025 se observó reducción de humedad relativa y conductividad eléctrica, lo que configuró una alerta de manejo hídrico y microclimático en la mayoría de fincas. La productividad también estuvo afectada por poda, resiembra, moniliasis e instalación agroforestal. Conclusiones: La productividad del cacao tradicional en Tumaco no se explicó únicamente por las condiciones del suelo, sino por la interacción entre fertilidad relativa, microclima, sanidad vegetal y manejo

agronómico. La conductividad eléctrica, humedad relativa, pH y temperatura del suelo fueron las variables más relevantes para orientar decisiones de manejo diferenciado. Se propone una ruta de agricultura de precisión de bajo costo para fortalecer la conservación de humedad, regulación de sombra, seguimiento edáfico y sostenibilidad productiva en sistemas agroforestales de cacao.

**Palabras Clave**: fertilidad del suelo; agricultura de precisión; manejo ambiental.
**Keywords:** soil fertility; precision agriculture; environmental management.

# Evaluación de la eficiencia operacional en la aspersión con DRON en sistemas agroforestales de café de San Pablo, Nariño

## *Evaluation of operational efficiency of DRONE spraying in coffee agroforestry systems in San Pablo, Nariño, Colombia*

David A. Calvache Muñoz[1]

[1] Profesor tiempo completo, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia

dacalvache@udenar.edu.co

**Resumen**

La expansión del área cultivada y la diversificación de variedades en sistemas agroforestales de café incrementan los requerimientos de manejo fitosanitario y de eficiencia operacional. En condiciones de alta pendiente, la aspersión convencional puede demandar elevada mano de obra y verse limitada por la lluvia, el riesgo laboral y el tránsito de personal dentro del cultivo. El objetivo general es evaluar la eficiencia operacional de la aspersión con dron en un sistema agroforestal de café del municipio de San Pablo, Nariño, considerando el tiempo de operación y el requerimiento de mano de obra. Se comparó el desempeño de la aspersión convencional reportada por el productor para 30 ha con la operación de un dron DJI *Agras* T25P en la misma superficie. El método convencional involucró 12 trabajadores durante 20 días, con jornadas de nueve horas. La operación con dron se realizó a 2 m $s^{-1}$, con una tasa de aplicación de 60 L $ha^{-1}$ y un equipo humano conformado por un operador y un asistente. El tiempo operacional fue cronometrado desde el primer despegue hasta el último aterrizaje, incluyendo recargas de líquido y la dinámica de recarga de las tres baterías. La aspersión convencional requirió 240 jornadas-hombre y 2.160 horas-hombre para 30 ha, equivalentes a 8 jornadas-hombre y 72 horas-hombre por hectárea. Con el dron se asperjaron las mismas 30 ha a un promedio de 40 min $ha^{-1}$, para un tiempo operacional acumulado de 20 h y 40 horas-hombre, equivalentes a 0,148 jornadas-hombre y 1,33 horas-hombre por hectárea. Bajo estas condiciones, se estimó una reducción del 97,9 % en el requerimiento de horas-hombre. El productor identificó además menor exposición del personal a condiciones de pendiente y lluvia y menor tránsito de trabajadores dentro del cultivo. La aspersión con dron mostró un alto potencial para mejorar la eficiencia operacional de esta labor en el sistema agroforestal evaluado, principalmente por la reducción del requerimiento de mano de obra y del tiempo efectivo de aspersión. La adaptación de la velocidad de vuelo a la presencia de árboles acompañantes permitió mantener la operación bajo condiciones estructurales propias del sistema agroforestal.

**Palabras Clave:** productividad; tecnología; rendimiento

**Keywords:** productivity; technology; performance

# Almacenamiento de carbono en biomasa aérea y suelo de bosque, pastura y sistemas agroforestales con cacao en la Amazonia colombiana

# Carbon storage in aboveground biomass and soil of forests, pastures, and cacao agroforestry systems in the Colombian Amazon

Juan Carlos Suárez Salazar [1], Diana Y. Cruz-Cerón [2], Hernán J. Andrade [3]

[1]Docente, Facultad de Ingeniería, Universidad de la Amazonia, Florencia; [2] Asistente de Investigación, Vicerrectoría de Investigación e Innovación, Universidad de la Amazonia, Florencia; [3]Docente, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima, Tolima

di.cruz@udla.edu.co

**Resumen**

**Introducción:** La conversión de bosques en pasturas y sistemas agrícolas simplificados reduce las reservas de carbono y compromete servicios ecosistémicos esenciales en la Amazonía colombiana. Los sistemas agroforestales con cacao integran producción y conservación mediante la incorporación de árboles de sombra, cuya biomasa y dinámica radicular pueden favorecer la captura y estabilización del carbono en paisajes intervenidos. **Objetivo:** Determinar el almacenamiento y la distribución del carbono en la biomasa aérea, necromasa, suelo y raíces hasta 150 cm de profundidad en sistemas agroforestales con cacao, y compararlos con bosque secundario, cacao a pleno sol y pastura. **Métodos:** El estudio se realizó en el Centro de Investigaciones Amazónicas Macagual, Florencia, Caquetá. Se evaluaron siete usos del suelo: bosque secundario, pastura, cacao a pleno sol y cacao asociado con abarco (*Cariniana pyriformis*), caracolí (*Anacardium excelsum*), capirón (*Calycophyllum spruceanum*) y huito (*Genipa americana*), con cinco parcelas por uso. El carbono aéreo se estimó mediante inventarios dendrométricos y modelos alométricos; la necromasa incluyó hojarasca, árboles muertos en pie y madera caída. El carbono orgánico del suelo se determinó por Walkley-Black y la biomasa radicular mediante extracción y lavado de bloques de suelo, en cinco estratos entre 0 y 150 cm. Los datos se analizaron con modelos lineales mixtos y la prueba DGC ($p < 0.05$). **Resultados:** El carbono aéreo difirió entre usos ($p < 0,05$): el bosque almacenó 83,2 Mg C $ha^{-1}$ y la pastura 0,9 Mg C $ha^{-1}$, mientras los sistemas agroforestales registraron entre 10,1 y 18,8 Mg C $ha^{-1}$. Abarco presentó el mayor valor agroforestal. Los árboles de sombra aportaron entre 0,4 y 6,6 Mg C $ha^{-1}$ y, en promedio, el 17 % del carbono aéreo. La tasa de captura arbórea osciló entre 0,4 y 2,6 Mg C $ha^{-1}$ $año^{-1}$; los sistemas con abarco y caracolí superaron a los demás arreglos agroforestales. El suelo constituyó el principal reservorio: el bosque acumuló 206,38 Mg C $ha^{-1}$, frente a 110,97 Mg C $ha^{-1}$ en la pastura. Los sistemas agroforestales almacenaron entre 135,52 y 168,38 Mg C $ha^{-1}$; tres de ellos superaron los 138,86 Mg C $ha^{-1}$ del cacao a plena exposición. Entre 36 y 53 % del carbono del suelo se concentró en 0–30 cm. En este estrato, abarco y caracolí alcanzaron 73,46 y 67,39 Mg C $ha^{-1}$, respectivamente. Entre 70 y más del 90 % del carbono radicular se concentró también en 0–30 cm; el bosque superó más de 15 veces a la pastura, y abarco presentó el mayor valor entre los sistemas agroforestales. **Conclusiones:** El bosque permaneció como el mayor reservorio de carbono y la pastura como el menor. Los sistemas agroforestales con cacao favorecieron la recuperación de carbono frente a usos simplificados, aunque su desempeño dependió de la especie de sombra. Abarco mostró el mayor potencial conjunto, mientras capirón presentó menor almacenamiento edáfico. La conservación del bosque y la

selección estratégica de árboles de sombra son complementarias para mitigar emisiones y recuperar paisajes amazónicos intervenidos. Estos hallazgos respaldan su implementación como estrategia regional de reconversión productiva amazónica y climáticamente resiliente.

**Palabras Clave:** cambio de uso del suelo; secuestro de carbono; servicios ecosistémicos.

**Keywords:** land-use change; carbon sequestration; ecosystem services.

# Composición florística de especies de sombra y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con achiote en el departamento del Chocó

# Floristic composition of shade and carbon storage species in agroforestry systems with annatto in the department of Chocó

Víctor E. Mena Mosquera[1] y Ángel E. Mena Arias[2]

1. Docente Investigador, Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica del Chocó
2. Docente Investigador, Universidad Nacional Abierta y A Distancia
victor.mena@utch.edu.co

**Resumen**

Introducción: los sistemas agroforestales (SAF) con Achiote (*Bixa orellana L.)* con árboles de sombra en el Chocó (Colombia), son una práctica tradicional, pero sus reservas de carbono son desconocidas, limitando su acceso a pagos por servicios ambientales. Objetivo: estimar el almacenamiento de carbono en los SAF con achiote en territorios de consejos comunitarios del departamento del Chocó. Métodos: Se establecieron 10 parcelas permanentes (50×20 m), se midió la DAP y la altura a todas las especies de sombra y $Db_{30}$ y altura total de los individuos de cacao, se hicieron calicatas de 30x30x30 para recolectar las muestras de suelo; se estimó la biomasa mediante ecuaciones alométricas, el carbono almacenado en la biomasa aplicando una fracción de carbono de 0,47 y el $CO_2e$ a través del factor 3,67; se determinó el carbono orgánico del suelo mediante el método de Walkley y Black y Terrón Parafinado respectivamente. Resultados: El carbono total promedio fue 60,5 Mg C $ha^{-1}$, acumulando 38.933,9 Mg C. El suelo almacenó 49,1 Mg C $ha^{-1}$ (81%), mientras que la biomasa (achiote + sombra) aportó 11,4 Mg C $ha^{-1}$ (19%). El $CO_2$ equivalente promedio fue 221,0 Mg $CO_2e$ $ha^{-1}$. Conclusión: Estos SAF son sumideros efectivos de carbono con predominio edáfico, respaldando su inclusión en esquemas de PSA y estrategias REDD+ en el Pacífico colombiano.

**Palabras Claves:** Pago por servicios ambientales, Cultivo bajo cubierta de sombra, Agricultura tropical

**Keywords:** Payment for environmental services, Shade-grown crops, Tropical agriculture

# Respuesta fisiológica de *Tithonia diversifolia, Dichanthium aristatum* y *Zea mays* en condiciones ambientales del bosque seco tropical en Armero Guayabal Tolima.

# Physiological Response of *Tithonia diversifolia*, *Dichanthium aristatum,* and Zea mays Under Environmental Conditions of the Tropical Dry Forest in Armero Guayabal, Tolima

Eliana C. Diaz Triana[1], Indira Isis García Quintero[2]

[1] Asistente de laboratorio, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad del Tolima,, Ibagué, Colombia,; [2]Profesora asociada, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia

igarcia@ut.edu.co

**Resumen**

El cambio climático es uno de los principales desafíos de la agricultura mundial, especialmente en América Latina, donde las alteraciones en los patrones de precipitación y la ocurrencia de eventos climáticos extremos afectan el crecimiento y la productividad de las especies destinadas a cultivos y forrajes. El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta fisiológica de especies vegetales de importancia agrícola y forrajera presentes en la región, mediante la medición de parámetros fisiológicos asociados al intercambio gaseoso y al estado hídrico bajo las condiciones ambientales del bosque seco tropical de Armero Guayabal - Tolima. Para ello, se utilizó el porómetro/fluorómetro *LICOR-600*, que permitió medir variables fisiológicas, en las especies botón de oro (*Tithonia diversifolia*), pasto Angleton (*Dichanthium aristatum*) y maíz (*Zea mays*). Las mediciones se realizaron en diferentes momentos del día con el fin de comparar cuantitativamente la respuesta fisiológica de cada especie frente a las condiciones ambientales y caracterizar su comportamiento frente al estrés térmico e hídrico. Los resultados mostraron que las tres especies ajustaron su fisiología a las variaciones ambientales a lo largo del día. El maíz (*Zea mays*). mantuvo una alta eficiencia fotoquímica con una regulación gradual de la conductancia estomática, , lo que sugiere una mayor tolerancia al estrés térmico e hídrico. El pasto Angleton (*Dichanthium aristatum*) presentó una respuesta más moderada, con un cierre estomático marcado durante la tarde para reducir la pérdida de agua. El botón de oro (*Tithonia diversifolia*), mantuvo una buena eficiencia del Fotosistema II *(PSII)* incluso al final del día, lo que sugiere una adecuada capacidad de recuperación cuando disminuyó la radiación. Se concluye, que la especie leñosa *T. diversifolia*, constituye una buena opción para su uso en sistemas silvopastoriles, dada su buene eficiencia fisiológica.

**Palabras clave:** cambio climático; fisiología vegetal; conductancia estomática; estrés ambiental.

**Keywords:** climate change; plant physiology; stomatal conductance; environmental stress.

# Efecto de árboles como tutores vivos sobre la fenología temprana de *Plukenetia volubilis* L. en el piedemonte llanero

# Effect of trees as living trellises on the early phenology of *Plukenetia volubilis* L. in the Colombian Llanos foothills

Sandra L. Barrera Fuentes[1]; Alexander Navas Panadero[2]; Paula A. Pinilla Pérez[3]; Joel D. Parra Alba[4]

[1]Profesora, Grupo de Investigación en Agroforestería y sostenibilidad, Grupo de Investigación Reproducción y Mejoramiento en Animales Tropicales, Universidad Internacional del trópico Americano, Yopal; [2]Universidad de La Salle. Grupo de Investigación Reproducción y Mejoramiento en Animales Tropicales, Bogotá ; [3] Universidad Internacional del Trópico Americano, Grupo de Investigación en Agroforestería y Sostenibilidad, Yopal; [4] Universidad Internacional del Trópico Americano, Grupo de Investigación en Agroforestería y Sostenibilidad, Yopal.

paulapinilla.es@unitropico.edu.co

**Resumen**

El cultivo de *Plukenetia volubilis* L. (sacha inchi) ha adquirido gran relevancia a nivel mundial debido a su elevado valor nutricional y a su creciente aprovechamiento agroindustrial en los sectores nutracéutico, cosmético y de alimentos funcionales. No obstante, su producción se desarrolla principalmente bajo modelos convencionales que emplean tutores muertos y un uso intensivo de agroquímicos, prácticas que generan impactos negativos sobre el ambiente y comprometen la rentabilidad del sistema productivo a largo plazo. Ante este panorama, resulta necesario explorar modelos de producción más sostenibles, siendo la incorporación de árboles como tutores vivos dentro de sistemas agroforestales (SAFS) una alternativa promisoria para reducir dichos impactos. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el desarrollo fenológico de *P. volubilis* bajo SAFS establecidos en el piedemonte llanero. El estudio se llevó a cabo en el municipio de Yopal, donde se compararon parcelas de *P. volubilis* cultivadas a plena exposición solar y con tutor artificial frente a parcelas establecidas en SAFS con tres especies arbóreas nativas utilizadas como tutores vivos, bajo las cuales se registraron niveles de transmisión de luz de 58,7%, 68,9% y 59,3%, respectivamente. Se realizó el seguimiento fenológico del cultivo durante los primeros 180 días de desarrollo. Los resultados evidenciaron diferencias significativas en el desarrollo fenológico entre tratamientos ($p < 0,0001$). Las plantas correspondientes a los tratamientos SAFS con *C. fistula* y *P. volubilis* en monocultivo alcanzaron más rápidamente el estadio de generación de frutos (E7), mientras que, a la misma edad tras la germinación, las plantas asociadas con *A. peregrina* y *B. virgilioides* se encontraban aún en el estadio fenológico de botón floral (E5). Se concluye que existen diferencias en el crecimiento inicial de *P. volubilis* según la condición lumínica a la que se encuentre expuesto, ya sea plena exposición solar o sombra parcial bajo sistemas agroforestales. La asociación con *C. fistula* mostró una fenología más acelerada y comparable a la del monocultivo, en tanto que el desarrollo fenológico inicial fue más lento en los sistemas asociados con *B. virgilioides* y *A. peregrina*, posiblemente debido a las menores tasas de transmisión de luz registradas bajo estas especies.

**Palabras Clave:** árboles nativos, piedemonte llanero, silvoagrícola, Orinoquía.

**Keywords:** native trees, Llanos foothills, silvo-agricultural, Orinoquía

**CARTELES**

# Evaluación de la calidad bromatológica del ensilaje de hojas de *Gmelina arborea* como alternativa forrajera en la alimentación de rumiantes

# *Gmelina arborea* leaf silage assessment of the bromatological quality as an alternative forage source for ruminants

Lizeth S. Burgos Castro[1]; Indira I. García Quintero[2] y José A. Correa Diaz[3]

[1]Estudiante, Tolima, Universidad del Tolima, Ibagué; [2]Docente de planta, Tolima, Universidad del Tolima, Ibagué; [3]Docente catedrático, Tolima, Universidad del Tolima, Ibagué.

igarcia@ut.edu.co

**Resumen**

La creciente demanda de alimentos para rumiantes y la estacionalidad de los forrajes tradicionales han llevado a la búsqueda de alternativas sostenibles en recursos arbóreos tropicales. *Gmelina arborea*, una especie forestal con un crecimiento rápido, ha sido ampliamente cultivada en Colombia por su madera de buena calidad, igualmente genera grandes volúmenes de biomasa foliar que actualmente se subutilizan. El ensilaje de estas hojas puede ser una alternativa para fuentes forrajeras estratégicas en épocas de escasez, siempre que se conozca su composición bromatológica y su comportamiento fermentativo. El presente proyecto tiene como objetivo evaluar el potencial nutricional y la calidad fermentativa del ensilaje elaborado a partir de hojas de *Gmelina arborea* como alternativa forrajera para la alimentación de rumiantes. Para ello, se plantea analizar las características bromatológicas del material ensilado, incluyendo contenido de materia seca, proteína cruda, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), cenizas y otros parámetros asociados a su valor nutritivo. Asimismo, se busca determinar las condiciones de fermentación mediante la evaluación de variables como pH, características organolépticas y estabilidad del ensilaje. La incorporación de hojas de *Gmelina arborea* como recurso alimenticio puede contribuir al aprovechamiento eficiente de biomasa agroforestal, favoreciendo sistemas ganaderos más sostenibles y diversificados. Los resultados esperados permitirán establecer su viabilidad como suplemento o fuente alternativa de forraje para rumiantes, aportando información para futuras aplicaciones en sistemas de producción animal tropical.

**Palabras clave:** forraje; leñosas, ganadería, sostenibilidad

**Keywords:** forage, woody plants, livestock farming, sustainability

# Efecto de *Tabernaemontana litoralis* sobre la metanogénesis ruminal: una revisión sistemática.

# Effect of *Tabernaemontana litoralis* on ruminal methanogenesis: a systematic review.

*Juan A. F. Salazar Vargas[1], Jairo Mora-Delgado[2], María A. Ospina[3].*

[1] Estudiante, Maestría en Ciencias Pecuarias, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.
[2]Docente, Departamento de Producción Anima, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.
[3]Docente, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.

jafsalazarva@ut.edu.co

**Resumen**

La producción de rumiantes contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero, donde el metano entérico destaca por su alto potencial de calentamiento global y representa una pérdida energética de hasta el 12% para el animal. Si bien los metabolitos secundarios de plantas ofrecen una alternativa para modular la fermentación ruminal, compuestos como los taninos suelen presentar efectos inespecíficos que comprometen la digestibilidad. En contraste, los alcaloides indólicos monoterpénicos, presentes en el género Tabernaemontana, ejercen una acción más selectiva al alterar la permeabilidad de membranas celulares, interferir en sistemas enzimáticos microbianos y suprimir la metanogénesis. El objetivo de este estudio es sistematizar y analizar la evidencia científica disponible sobre el efecto de *Tabernaemontana litoralis* y sus alcaloides indólicos sobre la metanogénesis ruminal y las comunidades de arqueas, para fundamentar su aplicación como estrategia nutricional. La metodología consiste en una revisión sistemática en bases de datos especializadas mediante búsquedas estructuradas, siguiendo las directrices PRISMA. Se emplearán combinaciones de términos relacionados con Tabernaemontana, alcaloides indólicos, fermentación ruminal, arqueas metanogénicas y producción de metano, estructurados bajo el marco PICO. Se establecerán criterios de inclusión y exclusión para la selección de estudios primarios *in vitro* e *in vivo*, extracción de información y evaluación de su calidad metodológica. Posteriormente, los datos sintetizados se organizarán de acuerdo con los mecanismos de acción sobre enzimas específicas de la ruta metanogénica, la modulación de comunidades microbianas y la respuesta de las variables fermentativas. Como resultados, se espera consolidar el estado del arte respecto a los mecanismos de acción de los alcaloides sobre las arqueas metanogénicas. La evidencia sugiere que los derivados de indol actúan como inhibidores directos de la metanogénesis, suprimiendo la viabilidad de arqueas acetoclásticas e hidrogenotróficas e interrumpiendo su comunicación celular. Además, al tener como objetivo enzimas específicas de la ruta metanogénica, se proyecta que se eviten efectos perjudiciales sobre la digestión de los alimentos, favoreciendo la reorientación del hidrógeno hacia la síntesis de propionato y disminuyendo la producción de metano. En conclusión, la revisión determinará el sustento teórico sobre el potencial de los alcaloides de *T. litoralis*

como moduladores específicos de la metanogénesis, aportando bases científicas para el aprovechamiento de la biodiversidad vegetal en la mitigación de gases de efecto invernadero en sistemas pecuarios.

**Palabras clave:** alcaloides indólicos, arqueas metanogénicas, propionato.

**Keywords:** indole alkaloids, methanogenic archaea, propionate

# Apropiación social del conocimiento y educación popular en una comunidad caficultora de Viotá

# Social Appropriation of Knowledge and Popular Education in a Coffee-Growing Community in Viotá

*Julieth Vanesa Guerrero Moreno*[1], Jairo *Mora-Delgado* [2],

[1] *Estudiante Doctorado en Ciencias de la Educación, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad del Tolima, Ibagué*; [2] *Profesor titular, Departamento Producción Pecuaria, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad del Tolima, Ibagué.*

jvguerrerom@ut.edu.co

**Resumen**

La caficultura en Viotá, Cundinamarca, además de constituir una actividad productiva, se encuentra estrechamente relacionada con la identidad, la memoria y las formas de organización de las comunidades campesinas. En este territorio, los procesos de aprendizaje vinculados al cultivo del café no ocurren únicamente mediante la asistencia técnica institucional, sino también a través de la experiencia acumulada en las fincas, el intercambio entre productores y la participación en organizaciones cafeteras. En este contexto, el presente estudio tiene como propósito analizar cómo se configura la apropiación social del conocimiento en una comunidad caficultora de Viotá desde la perspectiva de la educación popular. El estudio se desarrolló desde una metodología cualitativo, sustentado en principios de la teoría fundamentada. Participaron productores cafeteros vinculados principalmente a organizaciones del territorio, así como extensionistas y actores institucionales relacionados con la caficultura. La información se obtuvo mediante entrevistas semiestructuradas, grupos focales, observación participante y análisis documental. El proceso analítico permitió identificar categorías relacionadas con las prácticas educativas de la extensión rural, la experiencia campesina, el diálogo de saberes, la asociatividad, las barreras para la apropiación del conocimiento y las formas de aprendizaje construidas en el territorio. Los resultados muestran que los productores no reciben de manera pasiva el conocimiento técnico. Las recomendaciones son contrastadas con su experiencia, las condiciones de sus fincas, los recursos disponibles y los saberes construidos durante su trayectoria como caficultores. En este proceso adquieren especial importancia el aprender haciendo, las demostraciones en campo, las giras de aprendizaje y el intercambio campesino a campesino. Asimismo, las asociaciones funcionan como espacios educativos donde se comparten experiencias, se discuten problemas, se fortalecen vínculos comunitarios y se construyen aprendizajes colectivos. Sin embargo, la apropiación social del conocimiento está condicionada por barreras institucionales, económicas y socioculturales, entre ellas la discontinuidad del acompañamiento técnico, los altos costos de producción, la intermediación comercial, las dificultades de acceso a crédito y tecnología, el envejecimiento de los productores y la limitada inclusión generacional. Se concluye que la apropiación social del conocimiento en la caficultura trasciende la transferencia tecnológica y se configura como un proceso educativo, social y territorial construido mediante el diálogo entre conocimiento técnico y experiencia campesina, la participación en las asociaciones y la acción colectiva. Desde esta perspectiva, la educación popular ofrece elementos para avanzar hacia procesos de extensión más participativos y contextualizados, capaces de fortalecer la innovación, la caficultura y el tejido social del territorio.

**Palabras** clave: apropiación social del conocimiento, educación popular, caficultura,

comunidades de práctica, extensión rural, diálogo de saberes.

**Keywords:** social appropriation of knowledge, popular education, coffee farming, rural extension, dialogue of knowledge.

# Diversidad y abundancia de microorganismos cultivables con potencial promotor del crecimiento vegetal en huertas agroecológicas de la Universidad de Tolima.

# Diversity and abundance of cultivable microorganisms with Plant Growth-Promoting potential in agroecological gardens of the University of Tolima.

Yulieth K. Morales Villanueva [1], Angie L. Garzón Aguiar [2], Mario J. Gómez-Martínez [3]

[1] Técnico Laboratorio, Laboratorio de Ecoagricultura, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima, Ibagué ; [2] Estudiante Maestría en Ciencias Biológicas, Universidad del Tolima, Ibagué. Grupo de Investigación en Biotecnología y Producción Agrícola; [3] Docente, Departamento de Producción y Sanidad Vegetal, Universidad del Tolima, Ibagué.

mjgomez@ut.edu.co

**Resumen**

Las huertas agroecológicas constituyen sistemas productivos que pueden favorecer comunidades microbianas edáficas con potencial para intervenir en procesos asociados a la nutrición vegetal y la supresión de microorganismos fitopatógenos. En este contexto, el presente estudio se realizó en las huertas agroecológicas del programa de Ingeniería Agronómica de la Universidad del Tolima, donde se caracterizó la diversidad y abundancia de microorganismos cultivables con potencial como promotores del crecimiento vegetal (PGPR), considerando además su posible participación en procesos relacionados con la disponibilidad de nutrientes. Estas huertas presentan un historial de manejo agroecológico caracterizado, entre otras prácticas, por la aplicación continua durante cinco años de cascarilla de arroz y microorganismos de montaña. Se recolectaron muestras compuestas de cada huerta, en total 12, las cuales fueron diluidas hasta $10^{-4}$ y sembradas en medios de cultivo PDA, Ashby, ISP2, ZN y PVK, orientados a la recuperación de diferentes grupos funcionales. El medio AGN fue excluido del análisis debido al sobrecrecimiento observado, que impidió una diferenciación confiable de los morfotipos. La dinámica de crecimiento se evaluó durante 137 horas y la diversidad se estimó mediante riqueza, índices de Shannon y Pielou. Las diferencias entre medios se evaluaron mediante la prueba de Friedman y comparaciones pareadas de Wilcoxon con ajuste de Holm, mientras que la similitud composicional se estimó mediante el índice de Jaccard. La riqueza acumulada por medio fue de 21 morfotipos en PDA, 16 en Ashby, 22 en ISP2, 31 en ZN y 7 en PVK. La prueba de Friedman evidenció diferencias globales entre medios tanto para la riqueza ($\chi^2(4)=16,633$; $p=0,0023$) como para Shannon ($\chi^2(4)=12,538$; $p=0,0138$); no obstante, las comparaciones pareadas no identificaron diferencias significativas después del ajuste de Holm ($p$ ajustado>0,05). El índice de Pielou mostró mayor equidad en ISP2 (J'=0,788) y PDA (J'=0,770), mientras que PVK presentó la menor (J'=0,383). La similitud composicional fue generalmente baja: el mayor valor de Jaccard se presentó entre PDA e ISP2 (J=0,303), mientras que Ashby y PVK no compartieron morfotipos (J=0,000). En conjunto, los resultados evidencian una recuperación diferencial de morfotipos cultivables entre los medios evaluados y un bajo solapamiento composicional, lo que sugiere que las condiciones de cultivo permitieron recuperar fracciones

complementarias de la diversidad cultivable. La prevalencia de morfotipos recuperados en ZN podría estar relacionada con las condiciones fisicoquímicas del suelo, el historial de manejo o la presencia de microorganismos con capacidades funcionales múltiples. Sin embargo, esta interpretación requiere ser contrastada mediante análisis de fertilidad del suelo y aproximaciones moleculares, como la metagenómica, que permitan evaluar la diversidad y el potencial funcional de la comunidad microbiana más allá de la fracción cultivable.

**Palabras Clave:** *microbioma edáfico, diversidad funcional, nutrición vegetal*.

**Keywords:** *edaphic microbiome, functional diversity, plant nutrition.*

# Imágenes de acceso gratuito como herramienta para evaluar la cobertura arbórea en paisajes ganaderos del trópico alto tolimense

# Free-access imagery as a tool to assess tree cover in livestock landscapes of the Tolima high tropics.

*Martha Isabel Torres Salced* [1], *Roberto Piñeros-Varón* [2], *Mario J. Gómez-Martínez* [3]

[1] *Estudiante, Maestría en Desarrollo Rural, Universidad del Tolima, Ibagué*; [2] Docente, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad del Tolima, Ibagué; [3] *Docente, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima, Ibagué.*

mjgomez@ut.edu.co

**Resumen**

El uso de imágenes RGB de acceso gratuito constituye una alternativa de bajo costo y alta resolución para caracterizar la cobertura arbórea en paisajes ganaderos. Estas imágenes permiten delimitar con mayor detalle árboles dispersos, cercas vivas y arreglos silvopastoriles heterogéneos, elementos que pueden ser subestimados por sensores satelitales de menor resolución espacial. Se evaluó la utilidad de imágenes RGB de alta resolución, integradas en un entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG), para identificar y cuantificar cambios temporales en la cobertura arbórea de sistemas ganaderos de Cajamarca, Tolima, Colombia. El estudio se realizó en fincas ganaderas con más de diez años de establecimiento, las cuales se georreferenciaron en campo mediante un GPS. A partir de las coordenadas de cada predio se delimitaron unidades circulares de 20 ha, definidas como unidades espaciales de análisis. Para cada unidad se efectuó una búsqueda retrospectiva de imágenes RGB de alta resolución mediante las plataformas Esri World Imagery Wayback y Google Earth Pro. La selección de los pares temporales consideró la resolución efectiva, la calidad visual, la ausencia de nubosidad, neblina o áreas sin información, la capacidad de diferenciación entre coberturas arbóreas y no arbóreas, y una separación mínima de siete años entre las fechas de observación. El procesamiento cartográfico y el análisis espacial se realizaron en ArcGIS Pro. La información fue estandarizada al sistema de referencia MAGNA-SIRGAS 2018 / Origen-Nacional. Las imágenes históricas obtenidas mediante Google Earth Pro fueron georreferenciadas y corregidas espacialmente antes de su incorporación al análisis y su recorte a las unidades de 20 ha. Para cada fecha se generaron muestras de entrenamiento y se realizó una clasificación supervisada en dos categorías: árbol y no árbol. Las clasificaciones obtenidas fueron verificadas visualmente y ajustadas mediante comparación con las imágenes originales. Para el análisis multitemporal, los pares de imágenes se homologaron espacialmente mediante remuestreo y se compararon mediante álgebra de mapas. Se identificaron cuatro trayectorias de cambio: permanencia arbórea, pérdida arbórea, ganancia arbórea y permanencia no arbórea. La superficie correspondiente a cada categoría fue cuantificada en hectáreas a partir del número de píxeles y de la resolución espacial de cada imagen. La búsqueda retrospectiva permitió obtener 110 imágenes RGB de alta resolución: 106 de Esri World Imagery Wayback y cuatro imágenes históricas de 2004 de Google Earth Pro. Después de aplicar los criterios de calidad, nueve fincas, equivalentes al 34,6% de las unidades evaluadas, contaron con pares de imágenes adecuados para el análisis multitemporal. En total, se seleccionaron 18 imágenes, correspondientes a dos momentos de observación por finca, con registros entre 2004 y 2026 e intervalos de análisis entre 8,2 y 14,9 años. La integración de imágenes RGB

gratuitas de alta resolución con herramientas SIG permitió clasificar la cobertura arbórea y detectar espacialmente sus principales trayectorias de cambio a escala de finca. La metodología constituye una opción viable para el monitoreo de sistemas ganaderos; sin embargo, requiere una selección rigurosa de las imágenes, procesos de georreferenciación y homologación espacial, y controles de calidad que aseguren la comparabilidad temporal de los resultados.

**Palabras Clave**: Análisis multitemporal, Cobertura arbórea, Imágenes RGB, Sistemas ganaderos.

**Keywords:** Multitemporal análisis, RGB images, Silvopastoral systems, Tree cover

# Zonas de reserva campesina e integración socio-agro-forestal

# Peasant reserve zones and socio-agroforestry integration

Wilmer Andrés Martínez Rodríguez [1]

[1]Sociólogo, Maestrante en Desarrollo Rural. Universidad del Tolima. Grupo de Investigación Yuma- Íma, Universidad del Tolima

wamartinezr@ut.edu.co

**Resumen**

Las Zonas de Reserva Campesina (ZRC) en Colombia son una apuesta de reforma agraria y desarrollo sostenible contempladas en la Ley 160 de 1994. Sin embargo, para los campesinos y campesinas han significado más que una norma jurídica o una delimitación geográfica, puesto que desde las prácticas sociales y cotidianas representan oportunidades de cambio en la vida productiva, ambiental, cultural y social del campesinado organizado en esta forma de ordenamiento territorial. Para el caso de la presente en el Tolima, la ZRC del sur en el municipio de Chaparral se ha caracterizado por ser un proceso histórico de lucha en los ámbitos político, económico, ambiental, cultural y social. Este proceso detalla una trayectoria de más de 14 años de disputas territoriales por asegurar la preservación de 72,350 (ha) hectáreas de tierra para campesinos y campesinas de las cuales el 85% representan un alto porcentaje de vocación forestal, al que los campesinos reconocen como una opción de vida y protección ambiental. Esta oportunidad de pervivencia para el agua, el suelo, el aire y los bosques se han convertido en un escenario de disputa, debido a los intereses mineros, extractivitas hídricos y los agronegocios de personas externas al territorio chaparraluno. En ese sentido, el presente poster, corresponde a una síntesis basado en los datos y proyecciones de las comunidades de la Zona de Reserva Campesina de Chaparral “Tierra Vida y Paz” consignadas en su Plan de Desarrollo Sostenible (PDS) como una apuesta por la vida y la dimensión ambiental del campesinado como sujeto de derechos, el cual no sólo vive de la tierra, sino que coexiste, la preserva, protege e integra con el fin de permitir asegurar la vida y el alimento de las futuras generaciones.

.

**Palabras Clave:** Campesinado, Zona de Reserva Campesina, Dimensión ambiental, Preservación forestal.

**Keywords:** Peasant communities; Peasant, Reserve Zones; environmental dimension; forest conservation.

# Fortalecimiento de capacidades comunitarias para el aprovechamiento y transformación de la palma milpesos *Oenocarpus bataua* Mart. Bajo Calima, Buenaventura.

# Strengthening community capacities for the use and transformation of the milpesos palm Oenocarpus bataua Mart. Bajo Calima, Buenaventura.

Liliana Rojas-Álvarez[1], Nathali Rojas-Cortés[2], Claudia Patricia Valencia-Molina[3] y Javier Moreno Guancha[4]

[1]Estudiante Doctorado Ciencias Agrarias, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia; [2] Estudiante Sociología Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Cali, Colombia;[3] Fundación Ambiental y Educativa Farallones, Cali, Colombia; [4]Ecogreen Productos Naturales, Cali, Colombia.
lrojasa@ut.edu.co

## Resumen

La investigación realizada en la comunidad de Las Brisas, Bajo Calima, Buenaventura, Colombia, evaluó un proceso participativo de fortalecimiento de capacidades comunitarias asociado al aprovechamiento y transformación de la palma milpesos (*Oenocarpus bataua* Mart.). El estudio articuló conocimientos científicos y saberes locales mediante talleres teórico-prácticos, actividades de campo y procesos de transformación y desarrollo de productos. La participación activa de las mujeres de la comunidad contribuyó a la consolidación de la Asociación Palma Mujer del Pacífico (ASOPAMUPA) y al fortalecimiento de capacidades individuales y colectivas relacionadas con el trabajo colaborativo, la gestión de conflictos y el emprendimiento. Asimismo, se promovió el aprovechamiento de productos forestales no maderables (PFNM) y la valoración de su potencial para la generación de alternativas productivas locales. Como resultado, se fortalecieron procesos de organización comunitaria, participación y apropiación social del conocimiento, y se desarrollaron productos derivados del aceite de *O. bataua*, incluidos jabones artesanales y aceites cosméticos. El proceso evidenció limitaciones relacionadas con la participación, la dinámica organizativa, los conflictos internos y las condiciones de seguridad del territorio. Los resultados indican que el desarrollo de iniciativas productivas comunitarias basadas en PFNM requiere la integración de conocimientos técnicos con estrategias orientadas al fortalecimiento organizativo y la gestión de las relaciones sociales. En este sentido, el aprovechamiento de *O. bataua* representa una alternativa con potencial para contribuir al fortalecimiento comunitario, la innovación social y la diversificación productiva en territorios rurales del Pacífico colombiano.

**Palabras Clave:** conocimiento local, agroecología, economía popular, bosque
**Keywords:** *local knowledge, agroecology, popular economy, forest*

# Bioconectividad hídrica y melitófila: nucleaciones entomoforestales para la restauración asistida en agrosistemas de ladera, RNSC Charco Azul, Rovira, Tolima

## *Hydrologic and melittophilous bioconnectivity: entomoforestry nucleations for assisted restoration in hillside agrosystems, Rovira*

*Jayder Pérez Montes* [1], *Johana A. Quiroga Colorado* [2]

[1] *Ingeniero Agroforestal (C), Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA), Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Ibagué, Colombia*; [2] *Docente Investigadora, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA), Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Ibagué*

jayder.perez@unad.edu.co

**Resumen**

**Introducción:** La degradación del suelo y la fragmentación del paisaje amenazan la regulación hídrica de las ocho microcuencas en la Reserva Natural de la Sociedad Civil Charco Azul (RNSC), Rovira, Tolima. Para restaurar la conectividad ecológica y favorecer la conservación del recurso agua en agrosistemas de ladera, la entomoforestería ofrece un enfoque innovador centrado en las interacciones bióticas entre la flora melitófila y las abejas nativas sin aguijón (Meliponini). **Objetivo:** Diseñar y seleccionar las especies botánicas de un arreglo entomoforestal por nucleación concéntrica, articulando la oferta de recursos florales con la capacidad de atracción visual (blanco de abeja) de las especies de meliponinos presentes en la reserva para la restauración asistida y la conectividad hídrica. **Métodos:** Se caracterizó la vegetación en parches de bosque húmedo premontano y se identificaron las abejas nativas registradas en la reserva (*Tetragonisca angustula*, *Melipona eburnea*, *Frieseomelitta paupera*, *Scaptotrigona magdalenae*, *Nannotrigona* sp. y *Partamona* sp.). Mediante evaluación multicriterio de atributos ecológicos y melitófilos (guías de néctar en espectro UV de 300–650 nm, morfología de la corola y periodo de floración), se seleccionó la flora para el diseño de un núcleo concéntrico de 706,9 m² estructurado en una especie nodriza central, un huerto floral y tres anillos funcionales. **Resultados:** Como especie nodriza se seleccionó *Myrsine guianensis* (con un 100% de uniformidad en los transectos evaluados), garantizando un microclima favorable y sombra filtrada. En el huerto floral central (3 m de diámetro) se priorizaron especies herbáceas y arbustivas de alta oferta energética de néctar y polen como *Tithonia diversifolia*, *Stachytarpheta cayennensis*, *Hamelia patens*, *Lantana camara*, *Calea prunifolia* y *Liabum melastomoides*. El Anillo 1 (interno con oferta de resinas y ceras tróficas para la construcción de nidos) incorporó *Bixa orellana*, *Anacardium occidentale*, *Eugenia stipitata* y *Callianthe insignis*. El Anillo 2 (intermedio, actuando como barrera ambiental) incluyó *Daphnopsis americana*, *Calliandra pittieri* y *Tecoma stans*. El Anillo 3 (externo, dosel y conectividad) integró *Cedrela odorata*, *Inga edulis*, *Genipa americana*, *Erythrina poeppigiana* y *Platymiscium pinnatum*. **Conclusiones:** La selección de flora adaptada al espectro visual y requerimientos tróficos de los meliponinos consolida a las nucleaciones entomoforestales como núcleos de facilitación biológica que aceleran la sucesión vegetal, sostienen la meliponicultura y protegen la red hídrica en cuencas de ladera.

**Palabras Clave:** abejas sin aguijón, recursos florales, meliponicultura

**Keywords:** *stingless bees, floral resources, meliponiculture*

# Saberes ancestrales y tecnologías tradicionales en huertos de plátano cachaco (*Musa paradisiaca* ABB) del sur del Tolima

# Ancestral knowledge and traditional technologies in cachaco platan (*Musa paradisiaca* ABB) orchards in southern Tolima.

Meliza Moreno-Henao[1]; Jairo Mora-Delgado[2], J; Mario J. Gómez-Martínez[3]

[1]Estudiante de doctorado en Ciencias Agrarias, Universidad del Tolima, Ibagué, [2]Profesor titular, departamento de Producción Pecuaria, Universidad del Tolima, Ibagué [3]Profesor Asociado, departamento de Sanidad y Producción Vegetal, Universidad del Tolima, Ibagué

jmmorenoh@ut.educo

El cultivo de plátano cachaco (*Musa paradisiaca* ABB) constituye un componente fundamental de las prácticas productivas, alimentarias y culturales de comunidades indígenas del sur del Tolima. En Coyaima, particularmente en la región de Totarco, la disminución de las coberturas boscosas y la presión sobre los relictos de bosque y nacimientos de agua evidencian la necesidad de fortalecer estrategias que articulen producción, conservación y restauración ecológica. Una práctica tradicional, es el uso de saberes ancestrales sobre el manejo las especies leñosas, orientadas a reducir los efectos adversos del viento, mejorar la regulación microclimática y contribuir a la conservación de la humedad y fertilidad del suelo en los huertos. El objetivo de este estudio fue revisar las investigaciones sobre el cultivo de cachaco integrado con especies arbóreas en arreglos agroforestales y uso de tecnologías ancestrales. Para ello, se hizo una revisión sistemática en Scopus y Google académico, usando las ecuaciones de *búsqueda Banana and Agroforestry*, y *cachaco and agroforestería*, respectivamente; luego, se establecieron limites, ventana de observación y criterios de inclusión/exclusión. Los resultados denotan una limitada bibliografía en el tema, solo se recuperaron en Scopus 279 documentos y en Google académico 39 documentos, en una ventana de observación de 10 años. Análisis previos sugieren que la incorporación de árboles multipropósito, junto con prácticas de cobertura, manejo de residuos orgánicos y protección de fuentes hídricas, representa una alternativa para fortalecer la resiliencia de los sistemas productivos frente a la variabilidad climática. Así, la diversificación agroforestal mediante la incorporación de especies arbóreas constituye una alternativa para reducir la vulnerabilidad de los sistemas productivos frente a condiciones climatológicas actuales. La revisión realizada es una base para identificar estrategias y contribuir a disminuir las presiones sobre los ecosistemas y fortalecer la relación cultura–naturaleza, valorando los conocimientos y prácticas productivas del territorio. Se concluye que la revisión sistemática aporta criterios técnicos y sociales para el diseño de sistemas productivos resilientes, sustentables y culturalmente pertinentes, capaces de articular la producción de cachaco con procesos de conservación, recuperación y restauración ecológica.

**Palabras claves:** saberes ancestrales, tecnologías tradicionales, sistemas agroforestales, vulnerabilidad climática, recuperación y restauración ecológica

**Keywords**: Ancestral knowledge, traditional technologies, agroforestry systems, climate vulnerability, ecological recovery and restoration

Artículos podrán ser enviados por e-mail a:
Luz Amalia Forero
Gloria Lucía Martínez Restrepo
Editoras
Revista Agroforestería Neotropical
Universidad del Tolima
Barrió Santa Elena, Ibagué, Colombia, Sur América
Tel: 277 20 42, 277 12 12 Ext: 9231
revistaafnt@ut.edu.co

Universidad del Tolima

RAUC