



MODELOS AGROFORESTALES:

Validación social, agronómica
y ambiental en Arboledas,
Norte de Santander

Dixon Fabián **Flórez Delgado**
Leónides **Castellanos González**
Alfonso Eugenio **Capacho Mogollón**

MODELOS AGROFORESTALES:

Validación social, agronómica y ambiental
en Arboledas, Norte de Santander

Modelos agroforestales: Validación social, agronómica y ambiental en Arboledas, Norte de Santander / Dixon Fabián Flórez Delgado, Leónides Castellanos González, Alfonso Eugenio Capacho Mogollón -- Pamplona: Universidad de Pamplona. 2025.

200 p. 17 cm x 24 cm

ISBN (Digital): 978-628-7656-81-9

© Universidad de Pamplona

© Sello Editorial Unipamplona

Sede Principal Pamplona, Km 1 Vía Bucaramanga-Ciudad Universitaria. Norte de Santander, Colombia.

www.unipamplona.edu.co

Teléfono: 6075685303

Modelos agroforestales: Validación social, agronómica y ambiental en Arboledas, Norte de Santander

Dixon Fabián Flórez Delgado

Leónides Castellanos González

Alfonso Eugenio Capacho Mogollón

ISBN (digital): 978-628-7656-81-9

DOI: <https://doi.org/10.24054/ze1js008>

Primera edición octubre de 2025

Colección Ciencias Pecuarias y Agronomía

© Sello Editorial Unipamplona

Rector: Ivaldo Torres Chávez Ph.D

Vicerrector de Investigaciones: Aldo Pardo García Ph.D

Jefe Sello Editorial Unipamplona: Caterine Mojica Acevedo

Corrección de estilo: Andrea del Pilar Durán Jaimes

Diseño y diagramación: Laura Angelica Buitrago Quintero

Hecho el depósito que establece la ley. Todos los derechos reservados. Prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio, sin permiso del editor.



MODELOS AGROFORESTALES: Validación social, agronómica y ambiental en Arboledas, Norte de Santander

Dixon Fabián Flórez Delgado
Leónides Castellanos González
Alfonso Eugenio Capacho Mogollón



Vicerrectoría de
INVESTIGACIONES
UNIPAMPLONA

“Formando nuevas generaciones con
sello de excelencia comprometidos
con la transformación social de las
regiones y un país en paz.”



Agradecimientos

Queremos expresar nuestra profunda gratitud a todas las personas e instituciones que hicieron posible la ejecución de este proyecto y la publicación de este libro. En primer lugar, agradecemos a los productores que participaron activamente en la validación de los sistemas agroforestales propuestos. Su conocimiento práctico y experiencia fueron fundamentales para el éxito de este trabajo.

Agradecemos también al equipo de investigación y colaboradores que contribuyeron con su dedicación y experticia durante todas las etapas del proyecto denominado *“Desarrollo estratégico agroecológico con uso de las TIC, para el fortalecimiento de cultivos promisorios en el departamento de Norte de Santander, Plantar”*. Sus aportes fueron cruciales para la recolección de datos, el análisis de resultados necesarios para la redacción de este libro.

Nos gustaría expresar nuestro reconocimiento a la Gobernación del Norte de Santander, a la Universidad de Pamplona y al Sistema General de Regalías, cuyo apoyo financiero hizo posible llevar a cabo este proyecto de investigación. Su compromiso con la innovación en el ámbito agroecológico ha sido fundamental para avanzar en el conocimiento y la práctica en este campo.

Este libro es el resultado del esfuerzo colectivo y la colaboración de muchas instituciones y personas, cuya generosidad y compromiso han sido fundamentales para alcanzar nuestros objetivos. Sin su ayuda, este proyecto no habría sido posible.

¡Gracias a todos!

ÍNDICE

5	AGRADECIMIENTOS
19	PRÓLOGO
21	RESUMEN
23	ABSTRACT
25	INTRODUCCIÓN

27 CAPÍTULO 1 AGROECOLOGÍA Y DESARROLLO SOSTENIBLE

29	1.1 Introducción al Desarrollo Sostenible
29	1.2 Dimensiones del Desarrollo Sostenible
29	1.2.1 Dimensión económica
30	1.2.2 Dimensión social
30	1.2.3 Dimensión ambiental
30	1.3 Indicadores y Objetivos del Desarrollo Sostenible
30	1.4 Enfoques y estrategias para el Desarrollo Sostenible
30	1.4.1 Enfoque de capacidad
31	1.4.2 Enfoque ecosistémico
31	1.4.3 Economía circular
31	1.5 Introducción a la agroecología
31	1.5.1 Principios y prácticas de la agroecología
32	1.5.2 Agroecología y resiliencia climática
32	1.5.3 Impacto social de la agroecología
32	1.5.4 Contribuciones al Desarrollo Sostenible
33	1.6 Estudios de caso
33	1.7 Desafíos y perspectivas futuras

35 CAPÍTULO 2 ASPECTOS METODOLÓGICOS

37	2.1 Ajuste participativo de los sistemas agroforestales con productores
37	2.2 Caracterización socioeconómica
38	2.3 Caracterización agroeconómica
38	2.4 Evaluación del nivel de conocimiento agroecológico de los productores
39	2.5 Implementación de prácticas agroecológicas
39	2.6 Caracterización físico química del agua
41	2.7 Clasificación agroquímica y taxonómica del suelo
41	2.7.1 Clasificación agroquímica del suelo

42	2.7.2 Clasificación taxonómica del suelo
44	2.8. Para la caracterización de la biología del suelo
44	2.8.1 Macrofauna
45	2.8.2 Mesofauna
46	2.8.3 Microfauna
47	2.9 Inventario forestal
49	2.10 Validación de modelos agroforestales
49	2.10.1 Efecto de los modelos agroforestales sobre la calidad hídrica
49	2.10.2 Efecto de los modelos agroforestales sobre las variables físico-químicas del suelo
49	2.10.3 Efecto de los sistemas agroforestales sobre las variables biológicas del suelo
50	2.10.4 Valoración de los sistemas agroforestales implementados
50	2.10.5 Desarrollo de los policultivos
50	2.10.5.1 Población de cultivos
51	2.10.5.2 Desarrollo de los cultivos por parcela
52	2.10.5.3 Dinámica de plagas y enfermedades
53	2.11 Validación social de los modelos agroforestales

55 **CAPÍTULO 3** **RESULTADOS Y ANÁLISIS**

57	3.1 Ajuste participativo de los sistemas agroforestales con productores
58	3.2 Caracterización socioeconómica
60	3.3 Caracterización agroeconómica
64	3.4 Evaluación del nivel de conocimiento agroecológico de los productores
65	3.5 Implementación de prácticas agroecológicas
68	3.6 Caracterización físico química del agua
72	3.7 Clasificación agroquímica y taxonómica del suelo
72	3.7.1 Clasificación agroquímica del suelo
83	3.7.2 Clasificación taxonómica del suelo
87	3.8 Caracterización de la biología del suelo
92	3.8.1 Macrofauna
102	3.8.2 Mesofauna
110	3.8.3 Microfauna
116	3.9 Inventario forestal
128	3.10 Validación de modelos agroforestales
128	3.10.1 Efecto de los sistemas agroforestales sobre la calidad del agua
131	3.10.2 Efecto de los modelos sobre las propiedades agroquímicas del suelo
149	3.10.3 Efecto de los sistemas agroforestales sobre las variables biológicas del suelo

158	3.10.4 Sistemas agroforestales implementados por parcelas, modelos y fincas
159	3.10.5 Desarrollo de cultivos en los modelos agroforestales
159	3.10.5.1 Población de cultivos
161	3.10.5.2 Dinámica del desarrollo de los cultivos por parcela
169	3.10.5.3 Dinámica de plagas y enfermedades
174	3.11 Validación social de los sistemas agroforestales con los agricultores

185 **CAPÍTULO 4** **VENTAJAS Y BENEFICIOS DE LOS RESULTADOS** **DE LA INVESTIGACIÓN**

187	4.1 Validación de modelos agroforestales
187	4.2 Efecto sobre las propiedades agroquímicas del suelo
188	4.3 Efecto sobre las variables biológicas del suelo
188	4.4 Desarrollo de cultivos en los modelos agroforestales
188	4.5 Validación social de los modelos
191	CONCLUSIONES
195	REFERENCIAS
201	DE LOS AUTORES

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables analizadas en la caracterización del agua	40
Tabla 2. Parámetros evaluados en el análisis agroquímico del suelo	41
Tabla 3. Formato empleado para la captura de datos relacionados con el perfil edáfico	43
Tabla 4. Descripción del perfil del suelo	44
Tabla 5. Conformación de modelos agroecológicos	50
Tabla 6. Variables morfométricas evaluadas	51
Tabla 7. Modelos agroecológicos propuestos en el municipio de Arboledas	57
Tabla 8. Cultivos propuestos y definitivos por modelo agroecológico	58
Tabla 9. Características de los modelos agroforestales aprobados por los agricultores	58
Tabla 10. Análisis de varianza de los aniones y cationes del agua para la interacción finca por modelo	68
Tabla 11. Análisis de varianza de elementos agroquímicos y dureza del agua para la interacción finca en transición hacia la producción agroecológica por modelo	70
Tabla 11. Concentraciones de macroelementos presentes en los suelos.	73
Tabla 12. Concentraciones de microelementos presentes en los suelos	74
Tabla 13. Comparación de variables químicas y físicas del suelo entre la parcela testigo y la agroforestal	76
Tabla 14. Comparación de concentraciones de elementos mayores del suelo entre la parcela testigo y la agroforestal	77
Tabla 15. Niveles de microelementos y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) entre las parcelas testigo y agroecológicas	78
Tabla 16. Comparación de la concentración de elementos químicos del suelo en los modelos agroecológicos	79
Tabla 17. Comparación de los parámetros químicos y físicos del suelo en los tres modelos agroforestales	80
Tabla 18. Comparación de elementos químicos del suelo en interacción finca en transición hacia la producción agroecológica x modelo agroforestal	81
Tabla 19. Comparación de parámetros químicos y físicos del suelo en interacción finca en transición hacia la producción agroecológica x modelo agroforestal mediante ANOVA	82
Tabla 20. Porcentaje de las parcelas con niveles de nutrientes clasificados como bajos y deficientes	82

Tabla 21. Niveles de Conductividad Eléctrica, pH, saturación de humedad, carbono orgánico, Capacidad de Intercambio Catiónico clasificados como bajos y deficiente.	83
Tabla 22. Caracterización taxonómica de suelos	84
Tabla 23. Biología edáfica para el modelo agroforestal Cedro- Limón-Maíz	87
Tabla 24. Biología edáfica para el modelo agroforestal Cedro- Aguacate-Maíz	88
Tabla 25. Biología edáfica para el modelo agroforestal Cedro- Aguacate-Frijol	89
Tabla 26. Riqueza macrofauna en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas	92
Tabla 27. Biodiversidad global para el municipio de Arboledas, Norte de Santander	100
Tabla 28. Biodiversidad y estructura de comunidad para 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas	101
Tabla 29. Mesofauna en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas	103
Tabla 31. Índices de biodiversidad global para el municipio de Arboledas, Norte de Santander	107
Tabla 30. Biodiversidad y estructura de comunidad para 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas	108
Tabla 31. Riqueza microfauna en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas	110
Tabla 32. Biodiversidad global para el municipio de Arboledas	114
Tabla 33. Biodiversidad y estructura de comunidad para 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas	114
Tabla 34. Coberturas forestales por modelo agroforestal	116
Tabla 35. Riqueza florística de especies forestales en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio Arboledas.	120
Tabla 36. Biodiversidad global para el municipio de Arboledas	126
Tabla 37. Biodiversidad y estructura de comunidad para 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas	127
Tabla 38. Comparación de las características químicas y físicas del agua antes y después del establecimiento del Modelo agroforestal 1	129
Tabla 39. Comparación de las características químicas y físico del agua antes y después del establecimiento del Modelo agroforestal 2	130
Tabla 40. Comparación de las características químicas y físicas del agua antes y después del establecimiento del Modelo agroforestal 3	131
Tabla 41. Estadística descriptiva de variables para las 30 parcelas del Modelo 1 (Cedro- Limón- Maíz) del municipio de Arboledas	132
Tabla 42. Estadística descriptiva de variables para las parcelas experimentales y testigo del Modelo 1 (Cedro- Limón- Maíz) del municipio de Arboledas	133

Tabla 43. Comparación de las variables agroquímicas del suelo en el Modelo 1 (Cedro- Limón- Maíz) del municipio de Arboledas.	134
Tabla 44. Estadística descriptiva de variables para las 30 parcelas del Modelo 2 (Cedro-Aguacate- Maíz) del municipio de Arboledas	135
Tabla 45. Estadística descriptiva de variables del suelo en el Modelo 2 (Cedro-Aguacate- Maíz) del municipio de Arboledas	136
Tabla 46. Comparación entre parcelas experimentales y testigo para las variables agroquímicas del suelo para el Modelo 2 (Cedro- Aguacate- Maíz) de Arboledas	138
Tabla 47. Estadística descriptiva de variables para las 30 parcelas del Modelo 3 (Cedro-Aguacate- Frijol) del municipio de Arboledas	139
Tabla 48. Estadística descriptiva de variables del suelo para el Modelo 3 (Cedro-Aguacate- Frijol) del municipio de Arboledas	140
Tabla 49. Comparación entre parcelas experimentales y testigo para las variables agroquímicas del suelo para el Modelo 3 (Cedro- Aguacate-Frijol) de Arboledas	141
Tabla 50. Comparación suelo antes y después parcela agroforestal del Modelo 1 (Cedro-Limón-Maíz)	143
Tabla 51. Comparación suelo antes y después Parcela Testigo del Modelo 1 (Cedro- Limón-Maíz)	144
Tabla 52. Comparación suelo antes y después Parcela Agroforestal del Modelo 2 (Cedro-Aguacate-Maíz)	145
Tabla 53. Comparación suelo antes y después Parcela Testigo del Modelo 2 (Cedro-Aguacate-Maíz)	146
Tabla 54. Comparación suelo antes y después Parcela Agroforestal del Modelo 3 (Cedro-Limón-Maíz)	147
Tabla 55. Comparación suelo antes y después Parcela Testigo del Modelo 3 (Cedro-Limón-Maíz)	148
Tabla 56. Biodiversidad global para el municipio de Arboledas	151
Tabla 57. Biodiversidad global de la macrofauna edáfica por modelo agroforestal en el municipio de Arboledas	152
Tabla 58. Índices de Biodiversidad Global para el municipio de Arboledas	154
Tabla 59. Biodiversidad global de mesofauna edáfica por modelo agroforestal en el municipio de Arboledas	154
Tabla 60. Biodiversidad global para el municipio de Arboledas	157
Tabla 61. Biodiversidad global de microfauna edáfica por modelo agroforestal en el municipio de Arboledas	157
Tabla 62. Prácticas agroecológicas implementadas en los modelos agroforestales antes, durante y después de establecidos los cultivos	158
Tabla 63. Análisis de varianza para la población durante los meses noviembre 2018 y febrero 2019 en el municipio de Arboledas	159

Tabla 64. Análisis de varianza para la población durante los meses noviembre 2018 y febrero 2019 en el municipio de Arboledas	160
Tabla 65. Análisis de varianza para la población durante los meses noviembre 2018 - febrero 2019 en los diferentes grupos funcionales de cultivos en el municipio de Arboledas	160
Tabla 66. Comparación de las variables altura y diámetro del cedro en las parcelas agroforestales y testigo de los modelos 1, 2 y 3 en el municipio de Arboledas	161
Tabla 67. Comparación de las variables altura y diámetro del limón Tahití en la parcela agroforestal y testigo del modelo 1 en el municipio Arboledas.	161
Tabla 68. Comparación de las variables altura y diámetro del aguacate entre la parcela agroforestal y testigo del Modelo 2, en el municipio de Arboledas	162
Tabla 69. Comparación de las variables altura y diámetro del aguacate entre la parcela agroforestal y testigo del modelo 3 en el municipio Arboledas.	162
Tabla 70. Agentes nocivos en el Modelo 1 por cultivo del municipio de Arboledas	169
Tabla 71. Agentes nocivos en el Modelo 2 por cultivo del municipio de Arboledas	169
Tabla 72. Incidencia de los principales agentes nocivos en el Modelo 1 por cultivo del municipio de Arboledas	170
Tabla 73. Incidencia de los principales agentes nocivos en el Modelo 2 por cultivo del municipio de Arboledas	171
Tabla 74. Análisis DOFA aplicado a los participantes del proyecto	175
Tabla 75. Análisis de la matriz DOFA del municipio de Ocaña en el marco del Proyecto Plantar	177

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología para toma de las muestras de los suelos.	42
Figura 2. Descripción de los perfiles del suelo	42
Figura 3. Monolito para análisis de macrofauna.	44
Figura 4. Monolito para mesofauna.	45
Figura 5. Monolito para mesofauna.	46
Figura 6. Área de las fincas agropecuarias.	59
Figura 7. Principales actividades económicas.	60
Figura 8. Áreas dedicadas a la producción de caña panelera y café.	61
Figura 9. Principales cultivos en el municipio de Arboledas.	62
Figura 10. Principales tipos de sistema de riego.	62
Figura 11. Fuente hídrica para abastecimiento del sistema de riego.	63
Figura 12. Conocimiento en temas - prácticas agroecológicas.	65
Figura 13. Plano factorial ACM-Implementación de prácticas agroecológicas en el municipio de Arboledas.	66
Figura 14. Clúster por presencia/ausencia de biología del suelo del municipio de Arboledas	91
Figura 15. Abundancia en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.	97
Figura 16. Riqueza específica en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas, Norte de Santander.	98
Figura 17. Especies de macrofauna más abundantes en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas, Norte de Santander.	99
Figura 18. Especies más abundantes en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.	99
Figura 19. Diagrama de conglomerados para macrofauna del municipio de Arboledas.	102
Figura 20. Abundancia en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.	104
Figura 21. Riqueza Específica en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas	105
Figura 22. Especies de mesofauna más abundantes en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.	106
Figura 23. Distribución de las especies más abundantes en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.	106

Figura 24. Diagrama de conglomerados para mesofauna del municipio de Arboledas.	109
Figura 25. Abundancia en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.	111
Figura 26. Riqueza Específica en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.	111
Figura 27. Especies de microfauna más abundantes en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas	112
Figura 28. Distribución de las especies más abundantes en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.	113
Figura 29. Diagrama de conglomerados para microfauna municipio de Arboledas.	115
Figura 30. Abundancia en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio Arboledas.	122
Figura 31. Riqueza Específica en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.	123
Figura 32. Especies forestales más abundantes en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.	124
Figura 33. Especies más abundantes en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.	125
Figura 34. Diagrama de conglomerados para inventario forestal municipio de Arboledas.	128
Figura 35. Abundancia en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas	149
Figura 36. Riqueza Específica en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.	150
Figura 37. Abundancia en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas	152
Figura 38. Riqueza Específica en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.	153
Figura 39. Abundancia en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas	155
Figura 40. Riqueza Específica en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas	156
Figura 41. Variable altura en el cultivo de cedro, Modelo agroforestal 1 Cedro-Limón-Maíz.	163
Figura 42. Variable diámetro en el cultivo de cedro, Modelo agroforestal 1 Cedro-Limón-Maíz	163
Figura 43. Variable altura en el cultivo de limón, Modelo agroforestal 1 Cedro-Limón-Maíz.	164

Figura 44. Variable diámetro en el cultivo de limón, Modelo agroforestal 1 Cedro-Limón-Maíz.	164
Figura 45. Variable altura en el cultivo de cedro, Modelo agroforestal 2 Cedro-Aguacate-Maíz.	165
Figura 46. Variable diámetro en el cultivo de Cedro, Modelo agroecológico 2 Cedro-Aguacate-Maíz.	165
Figura 47. Variable altura en el cultivo de aguacate, Modelo agroforestal 2 Cedro-Aguacate-Maíz.	166
Figura 48. Variable diámetro en el cultivo de aguacate, Modelo agroforestal 2 Cedro-Aguacate-Maíz	166
Figura 49. Variable altura en el cultivo de cedro, Modelo agroforestal 3 Cedro-Aguacate-Frijol.	167
Figura 50. Variable diámetro en el cultivo de cedro, modelo agroforestal 3 Cedro-Aguacate-Frijol.	167
Figura 51. Variable altura en el cultivo de aguacate, Modelo agroecológico 3 Cedro-Aguacate-Frijol.	168
Figura 52. Variable diámetro en el cultivo de aguacate, Modelo agroforestal 3 Cedro-Aguacate-Frijol.	168
Figura 53. Dinámica poblacional del principal agente nocivo en el cultivo de limón del Modelo agroforestal Cedro- Limón-Maíz.	172
Figura 54. Dinámica poblacional de los principales agentes nocivos en el cultivo de cedro del Modelo agroforestal Cedro- Aguacate-Maíz	172
Figura 55. Dinámica poblacional de las principales plagas en el cultivo de aguacate del Modelo agroforestal Cedro- Aguacate-Maíz.	173
Figura 56. Dinámica poblacional de la principal plaga en el cultivo de maíz del Modelo agroforestal Cedro- Aguacate-Maíz.	174
Figura 57. Apreciación de los agricultores participantes sobre el impacto del proyecto.	180
Figura 58. Percepción de los agricultores sobre las expectativas y fortalecimiento del trabajo desarrollado.	181
Figura 59. Percepción de los agricultores sobre el nivel de organización y satisfacción con los insumos y tiempo de desarrollo.	182



Prólogo

En el mundo dinámico y desafiante de la agricultura contemporánea, la búsqueda de prácticas eficientes y sostenibles se ha convertido en un tema prioritario a nivel global. En este contexto, el presente libro emerge como un testimonio tangible del esfuerzo colaborativo entre investigadores, productores y comunidades en la validación de modelos agroecológicos. Estos modelos no solo representan herramientas técnicas, sino también la cristalización de un compromiso profundo con la salud de nuestros ecosistemas, la seguridad y soberanía alimentaria y el bienestar de las futuras generaciones.

Durante años, el equipo detrás de este proyecto ha trabajado incansablemente para analizar y aplicar los principios de la agroecología en entornos prácticos. Desde la conceptualización hasta la implementación en campo, cada paso ha sido guiado por el deseo de integrar el conocimiento científico con la sabiduría empírica de los agricultores. Este libro no solo documenta los resultados, sino que también celebra el proceso de aprendizaje mutuo y la colaboración genuina que ha caracterizado este proyecto.

La agroecología como enfoque holístico para la agricultura, reconoce la interdependencia entre los sistemas naturales y humanos. A través del intercambio de saberes, hemos sido testigos de cómo los modelos agroecológicos pueden adaptarse y prosperar en diversos contextos climáticos y socioeconómicos. Este libro, por lo tanto, se plasma como un compendio de conocimiento vivo, en constante evolución, que invita a reflexionar sobre las prácticas agrícolas actuales y a imaginar un futuro más resiliente y sostenible.

En estas páginas encontrarán no solo datos y gráficos, sino también historias de vida y de tierra. Cada capítulo refleja el compromiso de los agricultores con sus tierras y cultivos, así como la dedicación de los investigadores por comprender y mejorar estas prácticas. A través de experiencias compartidas y lecciones aprendidas, se traza un mapa hacia un futuro agrícola más

justo y equitativo, donde la biodiversidad, la salud del suelo y la soberanía alimentaria ocupen el centro del escenario.

Agradecimientos a todos los involucrados en este proyecto: A los productores que abrieron sus puertas y compartieron su conocimiento ancestral, a los investigadores que dedicaron largas horas de estudio y análisis y a las instituciones que brindaron el apoyo financiero y logístico requerido. Cada uno de ustedes han contribuido de manera invaluable a este esfuerzo colectivo y este libro es un tributo a su compromiso y colaboración.

Esperamos que estas páginas inspiren a más personas a explorar y adoptar enfoques agroecológicos en sus propias comunidades. Que este libro sea una semilla que florezca en acciones concretas y transformadoras, hacia un futuro donde la agricultura sea verdaderamente sostenible y resiliente.

¡Que disfruten de la lectura y que esta obra sea un faro de esperanza y conocimiento en el vasto océano de la agricultura agroecológica!



Resumen

El proyecto “Desarrollo estratégico agroecológico con uso de TIC para el fortalecimiento de cultivos promisorios en el departamento de Norte de Santander” tuvo como objetivo validar tres modelos agroforestales en el municipio de Arboledas durante 18 meses, contó con la participación de 15 productores, beneficiando a 90 familias. Se establecieron tres modelos: Modelo 1 (Cedro–limón–maíz), Modelo 2 (Cedro–aguacate–maíz) y Modelo 3 (Cedro–aguacate–frijol). En cuanto a calidad del agua, los modelos redujeron metales pesados como zinc y cobre, aunque se incrementaron amonio y manganeso. Los análisis del suelo revelaron alta variabilidad agroquímica en el Modelo 3, con más del 60 % de variación en 15 de 22 parámetros. Para la biología del suelo, se identificaron 3.249 individuos de macrofauna, 3.981 de mesofauna y 1.555 de microfauna, observándose mejoras en biodiversidad tras su implementación. En crecimiento vegetal, no hubo diferencias entre parcelas testigo y agroecológicas para limón y aguacate. Las plagas tuvieron baja incidencia, salvo el cogollero en el Modelo 2. El Modelo 3 no presentó afectaciones fitosanitarias. Finalmente, el impacto social fue positivo gracias a la transferencia de conocimiento mediante TIC, mejorando la rentabilidad, sostenibilidad y calidad de vida de las comunidades beneficiadas.

Palabras clave: biología del suelo, calidad de agua, producción agrícola, sostenibilidad, transferencia de conocimiento.



Abstract

The project “Strategic agroecological development with the use of ICT to strengthen promising crops in the department of Norte de Santander” aimed to validate three agroforestry models in the municipality of Arboledas for 18 months, with the participation of 15 producers, benefiting 90 families. Three models were established: Model 1 (Cedar–lemon–corn), Model 2 (Cedar–avocado–corn) and Model 3 (Cedar–avocado–bean). Regarding water quality, the models reduced heavy metals such as zinc and copper, although ammonia and manganese were increased. Soil analyzes revealed high agrochemical variability in Model 3, with more than 60% variation in 15 of 22 parameters. For soil biology, 3,249 individuals of macrofauna, 3,981 of mesofauna and 1,555 of microfauna were identified, with improvements in biodiversity observed after its implementation. In plant growth, there were no differences between control and agroecological plots for lemon and avocado. The pests had a low incidence, except for the armyworm in Model 2. Model 3 did not present phytosanitary effects. Finally, the social impact was positive thanks to the transfer of knowledge through ICT, improving the profitability, sustainability and quality of life of the benefited communities.

Keywords: soil biology, water quality, agricultural production, sustainability, knowledge transfer.





Introducción

En los últimos años, las prácticas agroecológicas han ganado reconocimiento como una alternativa viable y sostenible a la agricultura convencional. Ante los desafíos de la humanidad como la reducción del cambio climático, la biodiversidad y la degradación del suelo, la agroecología ofrece soluciones que integran conocimientos tradicionales y científicos. Este enfoque holístico promueve la equidad social, la sostenibilidad y la viabilidad económica, posicionándose como una estrategia clave para garantizar la seguridad y soberanía alimentaria y la resiliencia de los sistemas de producción agrícopecuarios. Este libro surge de un proyecto de investigación dedicado a validar modelos agroecológicos en colaboración directa con productores, con el objetivo de demostrar su efectividad y adaptabilidad en diversos contextos agroecológicos.

La agroecología se ha convertido en una respuesta crucial a los numerosos desafíos globales que enfrenta la producción agropecuaria y en general la humanidad. Este enfoque holístico integra conocimientos tradicionales y científicos, promoviendo sistemas agrícolas sostenibles que son resilientes a las perturbaciones ambientales y económicas. Según Altieri et al. (2015), la agroecología permite diseñar sistemas agrícolas que son intrínsecamente resistentes al cambio climático, siendo primordial para garantizar la sostenibilidad en la producción agropecuaria.

Uno de los principales beneficios de la agroecología es su capacidad para mejorar la fertilidad del suelo y disminuir la dependencia de insumos externos. Gliessman (2016) señala que la agroecología no solo transforma los sistemas alimentarios, sino que también promueve prácticas que enriquecen el suelo y la biodiversidad, creando un entorno agrícola más equilibrado y sostenible. Además, estas prácticas pueden resultar en ahorros económicos significativos para los agricultores, al disminuir la necesidad de productos químicos costosos y al aumentar la resiliencia de los cultivos frente a enfermedades y plagas.

La agroecología también tiene un impacto positivo en la equidad social y la seguridad alimentaria. Al involucrar a las comunidades locales en la co-creación de conocimientos y prácticas agrícolas, se fortalece la soberanía alimentaria y se empodera a los agricultores para gestionar sus recursos de manera más efectiva. Mier et al. (2018) destacan que llevar la agroecología a gran escala mediante la participación de los productores en el desarrollo de sistemas agrícolas, lo que resulta en un uso más justo de los recursos y beneficios agropecuarios.

La agroecología no solo tiene el potencial de mejorar la sostenibilidad de las explotaciones agrícolas individuales, sino que también puede contribuir a la sustentabilidad global. Titttonell (2014) argumenta que la intensificación ecológica de la agricultura, basada en principios agroecológicos, es naturalmente sostenible y puede considerarse un factor importante en la transformación hacia modelos alimentarios globales más sostenibles. Este enfoque promueve el uso eficiente de los recursos naturales, la disminución de emisiones especialmente de carbono de la agricultura y la conservación de la biodiversidad.

La agroecología ofrece una ruta prometedora hacia la sostenibilidad agrícola y la resiliencia de las comunidades rurales. Wezel et al. (2015) subrayan que las fronteras entre la intensificación ecológica, la sostenibilidad y la agroecología son a menudo borrosas, pero todas comparten el objetivo común de crear sistemas agrícolas más sostenibles y equitativos. Adoptar y promover prácticas agroecológicas basadas en evidencia científica y adaptadas a las realidades locales es crucial para abordar los desafíos de la agricultura global.

Este libro contribuye al conocimiento de las prácticas agroecológicas, al proporcionar evidencia empírica sobre la eficacia de los sistemas agroforestales en contextos reales de producción, en fincas en transición hacia sistemas agroecológicos. Documenta el proceso de co-creación de conocimiento entre científicos y agricultores, destacando la importancia de los enfoques participativos. Además, ofrece recomendaciones prácticas para la adopción de prácticas de manejo agroecológicas en diversas condiciones, con el objetivo de inspirar y guiar a otros agricultores y profesionales del sector.

CAPÍTULO 1

Agroecología y Desarrollo Sostenible

Agroecología y Desarrollo Sostenible

1.1 Introducción al Desarrollo Sostenible

El desarrollo sostenible surge como respuesta de equilibrar el desarrollo económico, la protección y conservación ambiental, además de la equidad sociocultural. Este término ganó prominencia con la publicación del informe “Nuestro futuro común” por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1987, también conocido como el Informe Brundtland. Según este informe, el desarrollo sostenible se define como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades” (Brundtland, 1987).

1.2 Dimensiones del Desarrollo Sostenible

Se basa principalmente en tres pilares: Social, económico, y ambiental. Estos no pueden ser tratados de manera aislada, ya que cada uno influye en los demás y son esenciales para un desarrollo verdaderamente sostenible.

1.2.1 Dimensión económica

La dimensión económica se centra en la creación de una economía que funcione para todos, promoviendo el crecimiento económico inclusivo y sostenido. Esto implica generar empleo digno, fomentar la innovación y asegurar la estabilidad económica. Sachs (2015) argumenta que la economía sostenible debe basarse en el uso idóneo de los recursos, la reducción de las desigualdades económicas y la promoción de tecnologías limpias que minimicen los impactos ambientales negativos.

1.2.2 Dimensión social

Esta dimensión persigue la justicia y equidad social. Esto incluye la disminución de la pobreza y las desigualdades, así como la promoción de una educación y atención médica de calidad para todos. Sen (1999) destaca que el desarrollo debe verse como el proceso de expansión de las libertades y capacidades humanas, donde se garantice que todos los individuos tengan las oportunidades necesarias para llevar una vida digna y plena.

1.2.3 Dimensión ambiental

A nivel ambiental, se basa en la preservación del medio ambiente. Esto incluye la gestión adecuada de recursos naturales, la reducción de la contaminación y la mitigación del calentamiento global. Rockström et al. (2009) introducen el concepto de “límites planetarios”, sugiriendo que existen umbrales ecológicos que no deben ser superados para evitar cambios ambientales catastróficos que puedan comprometer la vida en la Tierra.

1.3 Indicadores y Objetivos del Desarrollo Sostenible

Para monitorear el progreso hacia el Desarrollo Sostenible, se han desarrollado varios indicadores y objetivos. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), adoptados por las Naciones Unidas en 2015, proporcionan un marco global con 17 objetivos y 169 metas específicas que abarcan desafíos sociales, económicos y ambientales más urgentes. Los ODS son el camino para lograr un futuro más sostenible y equitativo para 2030 (Naciones Unidas, 2015).

1.4 Enfoques y estrategias para el Desarrollo Sostenible

Existen diversas estrategias y enfoques para promover el Desarrollo Sostenible, cada uno con sus propias metodologías y áreas de enfoque.

1.4.1 Enfoque de capacidad

El enfoque de capacidad, propuesto por Sen (1999), se centra en mejorar las capacidades y libertades de los individuos, asegurando que todos tengan las oportunidades necesarias para alcanzar su pleno potencial. Este enfoque

hace énfasis en la salud, educación y participación social como medios para lograr un Desarrollo Sostenible e inclusivo.

1.4.2 Enfoque ecosistémico

El enfoque ecosistémico reconoce la interdependencia entre los sistemas humanos y naturales y busca gestionar los recursos naturales para que se mantenga la salud y funcionalidad de los ecosistemas. Esto implica prácticas de gestión que sean sostenibles a largo plazo y que integren las necesidades de las comunidades locales (Folke et al., 2004).

1.4.3 Economía circular

Este modelo de economía reduce las pérdidas y promover la reutilización y el reciclaje de materiales. De esta manera, contrasta con las prácticas tradicionales de “tomar, hacer, desechar” y se enfoca en cerrar los ciclos de recursos para minimizar el impacto ambiental y fomentar la sostenibilidad económica (Geissdoerfer et al., 2017).

1.5 Introducción a la agroecología

La agroecología se define como la adopción y aplicación de las bases de ecología al diseño, establecimiento y manejo de sistemas agropecuarios sostenibles. Este enfoque interdisciplinario integra conocimientos de la ecología, la agronomía, la economía y las ciencias sociales para promover prácticas agrícolas que sean ambientalmente sostenibles, socialmente justas y económicamente viables. Según Gliessman (2015), la agroecología no es solo una ciencia, sino también un movimiento y una práctica que pretende modificar el sistema alimentario global hacia un mayor grado de sostenibilidad y resiliencia.

1.5.1 Principios y prácticas de la agroecología

Los principios de la agroecología incluyen la diversidad biológica, la eficiencia del uso de recursos, la resiliencia de los sistemas productivos agropecuarios y la co-creación de conocimiento. Altieri y Nicholls (2017) destacan que la agroecología promueve la diversificación e integración de modelos de

producción y el uso de técnicas agrícolas que mejoran la salud del suelo y conservan la biodiversidad.

Estas prácticas no solo incrementan la producción y la estabilidad de los sistemas agrícolas, sino que también reducen la dependencia en cuanto a insumos externos como fertilizantes y pesticidas químicos, que pueden tener afectación en el medio ambiente.

1.5.2 Agroecología y resiliencia climática

La capacidad de la agroecología para mejorar la resiliencia de los modelos productivos agropecuarios frente al calentamiento global y cambio climático es un aspecto crucial de su relevancia para el desarrollo sostenible. Gliessman (2016) argumenta que los sistemas agroecológicos, al ser más diversificados y adaptativos, pueden soportar mejor las perturbaciones climáticas como sequías y tormentas, en comparación con los sistemas agrícolas tradicionales. Además, prácticas como la agroforestería y el manejo del suelo mejoran la capacidad para retener agua del suelo y disminuir los procesos erosivos, contribuyendo así a la adaptación al cambio climático.

1.5.3 Impacto social de la agroecología

La agroecología también tiene un impacto significativo en la equidad social y la justicia alimentaria. Al empoderar a los agricultores locales promoviendo la soberanía y seguridad alimentaria, las prácticas agroecológicas contribuyen a disminuir la pobreza y a garantizar la seguridad alimentaria. Mier et al. (2018) subrayan que la participación activa de los agricultores en la creación y adopción de prácticas agroecológicas es fundamental para el éxito de estas iniciativas, ya que permite adaptar las técnicas a las condiciones locales y aprovechar el conocimiento tradicional.

1.5.4 Contribuciones al Desarrollo Sostenible

La agroecología contribuye a este objetivo al promover sistemas agrícolas que son ambientalmente sostenibles, económicamente viables y socialmente justos. Según Kremen y Miles (2012), los sistemas agrícolas diversificados basados en principios agroecológicos pueden proporcionar una gama de

servicios ecosistémicos como el manejo y control de plagas, la preservación del suelo y la polinización que son vitales para la producción alimentaria a largo plazo.

1.6 Estudios de caso

Numerosos estudios de caso han demostrado la eficacia de la agroecología en diferentes contextos agroecológicos y socioeconómicos. Pretty et al. (2018) realizaron una evaluación global de sistemas agrícolas que han sido rediseñados para la intensificación sostenible, encontrando que la agroecología puede incrementar la producción, mejorar la salud del suelo y disminuir la huella ecológica de la agricultura. Además, Wezel et al. (2009) revisaron una serie de estudios de caso y concluyeron que la agroecología es una estrategia viable para lograr una agricultura más sostenible y equitativa en todo el mundo.

1.7 Desafíos y perspectivas futuras

A pesar de los avances en la promoción del desarrollo sostenible, existen numerosos desafíos que deben ser abordados. Estos incluyen la creciente desigualdad económica, la degradación del ambiente y el cambio climático, así como la necesidad de políticas coherentes y una gobernanza efectiva para implementar los ODS.

La colaboración internacional, la innovación tecnológica y el compromiso de todos los eslabones de la sociedad para superar estos desafíos y avanzar hacia un futuro más sostenible. Sachs (2015) subraya la importancia de la cooperación global y la implementación de políticas integradas que aborden de manera simultánea los aspectos ambientales, sociales y económicos correspondientes al desarrollo sostenible.

A pesar de sus numerosos beneficios, la adopción de la agroecología enfrenta varios desafíos, incluyendo barreras económicas, políticas y culturales. La falta de acceso a mercados, financiamiento y apoyo institucional puede dificultar la implementación de prácticas agroecológicas. Sin embargo, Kremen y Miles (2012) sugieren que la integración de políticas favorables y la organización de redes de apoyo para los agricultores pueden facilitar la transición hacia sistemas agroecológicos más sostenibles.

CAPÍTULO 2

Aspectos metodológicos

Aspectos metodológicos

2.1 Ajuste participativo de los sistemas agroforestales con productores

Se ajustaron los modelos agroecológicos de manera participativa con los productores. Se elaboró una ruta para el desarrollo de esta actividad y se capacitó a los facilitadores sobre el proyecto de investigación, sus objetivos específicos y los aspectos metodológicos a emplear.

La actividad comenzó con la presentación de los agricultores y técnicos a través de una dinámica grupal que les permitió aprender sobre la importancia del líder en un grupo de trabajo. Esto se hizo con el objetivo formar líderes agroecológicos y de sistemas agroforestales en esta región del departamento Norte de Santander.

Se organizaron espacios de trabajo colaborativo con los productores de las cinco finas por modelo propuestas, y se finalizó con una sesión general denominada plenaria. En las jornadas trabajo y en la plenaria, los participantes tuvieron libertad para analizar y proponer los cultivos idóneos para los modelos agroecológicos, las variedades y los maecos de plantación.

En un papelógrafo se hizo el registro de las especies forestales y cultivos propuestos por los participantes. Durante el desarrollo de la asamblea, se seleccionó un productor líder por cada equipo para que fuese el vocero ante la plenaria general. Cada uno de ellos socializó las propuestas, las cuales fueron debatidas y consensuadas, para de esta manera, definir los cultivos de los modelos de policultivo a establecer en el municipio.

2.2 Caracterización socioeconómica

El análisis socioeconómico de la población beneficiada tuvo como fin conocer aspectos intrínsecos de cada una de las familias. Para ello, se tuvieron en cuenta factores de residencia, vivienda, ingresos, actividades ocupacionales,

educación y servicios domiciliarios. Para ello, la actividad se basó en el censo realizado por el DANE, otros diagnósticos realizados en el departamento e instituciones académicas.

Se realizaron visitas domiciliarias, proporcionando un panorama más confiable para esta caracterización. Además, se aplicó un cuestionario que incluyó los siguientes aspectos: El aspecto social se evaluó con dos grupos de variables; el primero recogió información general: ubicación e identificación. El segundo se concentró en la información del núcleo familiar: composición y afiliación al sistema de seguridad social. El aspecto de economía se valoró con las siguientes variables: información económica, ingresos y estado de las vías de acceso a la finca.

2.3 Caracterización agroeconómica

Se efectuó el análisis agroeconómico de las familias beneficiarias, lo que permitió identificar aspectos de los sistemas de producción como áreas productivas, cultivos establecidos, análisis de suelos y agua, procesos de asistencia técnica y en general, aspectos del proceso productivo.

Para llevar a cabo el análisis, se realizaron visitas a cada finca en transición hacia la producción agroecológica. Además, se aplicó una encuesta abordando los siguientes ítems: en el área agroeconómica, se evaluó productividad y organización. En el ítem productivo se midió la producción, comercialización y consumo de alimentos. En el ítem organizacional, se tuvieron en cuenta redes de organización e innovación, la confianza y los centros de acopio.

2.4 Evaluación del nivel de conocimiento agroecológico de los productores

Se realizó un análisis de los participantes del proyecto en el municipio de Arboledas en relación con su conocimiento en agroecología. Se aplicó un cuestionario de 21 preguntas mediante visitas a las fincas en transición hacia la producción agroecológica, abordando aspectos como: conocimientos básicos sobre biodiversidad, inocuidad de alimentos, buenas prácticas agrícolas, manejo integrado y control biológico de plagas, entomopatógenos, hongos, fitoplaguicidas, trampas para insectos, uso de cal, biofertilizantes, micorrizas, bacterias fijadoras de nitrógeno, microorganismos eficientes,

compost, lombriz roja californiana para la producción de lombrihumus, bocashi y semillas.

Se utilizaron técnicas estadísticas univariantes y multivariantes para investigar el uso de prácticas agroecológicas. En las técnicas descriptivas, se trabajó principalmente con los porcentajes de las respuestas múltiples de los entrevistados y las respuestas dicotómicas.

Se realizaron Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM), seguidos de un análisis de clasificación automática aplicado sobre las coordenadas del ACM. Esto permitió explicar la interrelación entre los indicadores de implementación de las prácticas agroecológicas y establecer agrupaciones de las fincas en términos de diferencias y/o semejanzas.

2.5 Implementación de prácticas agroecológicas

A través de visitas en las fincas en transición hacia la producción agroecológica, se realizó la aplicación de una encuesta que abordó aspectos relacionados con las prácticas rutinarias diarias como: manejo de plagas, compostaje, uso de bioplaguicidas, labranza, conservación de bosque y nacientes, rotación de cultivos, policultivos, uso de semillas, comercialización y asociación con sistemas pecuarios.

2.6 Caracterización físico química del agua

Para esta caracterización se tomaron dos muestras por finca en transición hacia la producción agroecológica; una antes del establecimiento de los cultivos en modelos agroforestales y otra después, para un total de 30 muestras en el municipio. Para la toma de la muestra se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Limpieza y desinfección de los recipientes.
- Correcta identificación de las muestras por finca.
- Colecta de la muestra en la mitad del área de flujo.
- Remisión a laboratorio (Tabla 1).

Tabla 1
Variables analizadas en la caracterización del agua

CATIONES (MEQ/L)		
		Suma
Nivel de potasio		
Nivel de magnesio		
Nivel de sodio		
Nivel de calcio		
Nivel de amonio		
Aniones (meq/L)		
		Suma
Nivel de sulfatos		
Nivel de bicarbonatos		
Nivel de carbonatos		
Nivel de cloruros		
Nivel de fosfatos		
Nivel de nitratos		
Elementos químicos cationes (ppm)		
Nivel de manganeso		
Nivel de cobre		
Nivel de boro		
Nivel de zinc		
Nivel de hierro		
Variables de dureza		
pH		
Conductividad eléctrica (mS/cm)		
Dureza total (CaCO ₃) mg/L		
RAS (Relación de absorción de sodio)		

Fuente: Elaboración propia (2024)

Los datos se analizaron a través de estadística descriptiva en el paquete estadístico SPSS.

2.7 Clasificación agroquímica y taxonómica del suelo

2.7.1 Clasificación agroquímica del suelo

En cada finca en transición hacia la producción agroecológica, se tomaron 15 submuestras en forma de zig – zag realizando corte en V con una profundidad de 30 cm eliminando los bordes (Figura 1). Se conformó una sola muestra, mezclando las submuestras en un recipiente plástico la cual estuvo conformada por 500 gramos. Se continuó con su identificación y remisión a laboratorio para su análisis de acuerdo a lo señalado en la siguiente tabla.

Tabla 2
Parámetros evaluados en el análisis agroquímico del suelo

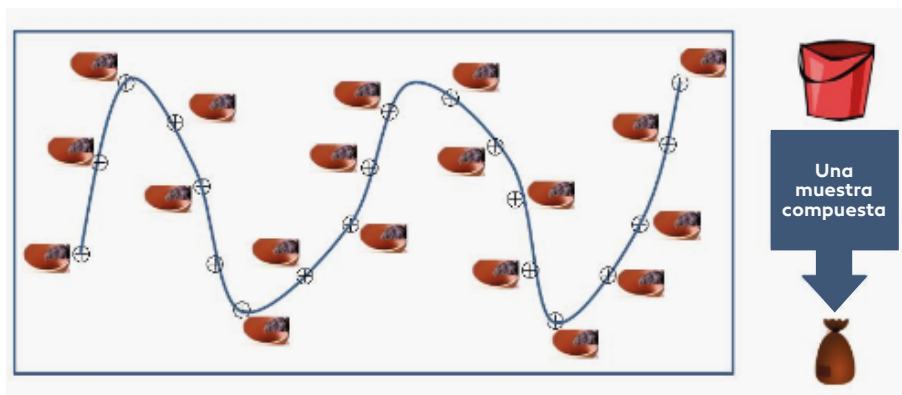
		Unidad de medida
Macroelementos	Potasio	meq/100 g
	Magnesio	
	Calcio	
	N-NH4	ppm
	Azufre	
	N-NO3	
	Fósforo	
Microelementos y Capacidad de Intercambio Catiónico	Cloro	meq/100 g
	Sodio	
	Boro	ppm
	Zinc	
	Cobre	
	Hierro	
	Manganeso	
	Capacidad de Intercambio Catiónico	meq/100 g
	Aluminio	

Fuente: Elaboración propia (2024)

Se realizaron dos muestreos en cada predio, uno antes de que fueran implementados de los modelos de policultivos y otro después de esta implementación coincidiendo con la siembra de los cultivos transitorios.

Figura 1

Metodología para toma de las muestras de los suelos.



Fuente: Elaboración propia (2024)

El análisis de los datos consistió en estadística descriptiva para los parámetros químicos y agroquímicos del suelo. Además, se efectuó comparación entre las parcelas con los modelos agroecológicos y los testigos mediante muestras no pareadas a través de la prueba t de Student en el paquete estadístico SPSS. Se consideró error del 5%.

Figura 2

Descripción de los perfiles del suelo



Fuente: Elaboración propia (2024)

2.7.2 Clasificación taxonómica del suelo

Para realizar la descripción de los perfiles en cada finca en transición hacia la producción agroecológica se realizó una visita de campo y teniendo en cuenta el levantamiento topográfico se establecieron las características del suelo con base en la sedimentación (Figura 2). Este análisis fue apoyado, además, por las condiciones de topografía de cada finca.

En el siguiente formato, presenta los datos recolectados para la descripción del suelo en cada predio.

Tabla 3
Formato empleado para la captura de datos relacionados con el perfil edáfico

Perfil No.:	
Perfil:	
Localización geográfica	
Departamento	
Municipio	
Hombre finca	
Propietario	
Altitud	
Coordenadas	Latitud: Longitud:
Tipo de relieve	
Pendiente (rango)	
Material parental	
Clima	
Precipitación media anual	
Temperatura media anual	
Distribución de lluvias	
Régimen de humedad	
Régimen de temperatura	
Drenajes	Interno: Externo:
Erosión	Natural: Clase: Tipo: Grado: Clase: Tipo:
Pedregosidad superficial	
Nivel freático	
Inundaciones o encharcamiento	
Profundidad efectiva	Limitada por: Uso actual: Nombre cultivos: Vegetación natural:
Limitantes de uso	
Descrito por	

Fuente: Elaboración propia (2024)

Adicionalmente, la descripción de cada suelo, se realizó teniendo en cuenta la siguiente tabla (Tabla 4).

Tabla 4
Descripción del perfil del suelo

Clase de horizonte	Profundidad (cm)
Observaciones:	
Clase de horizonte	Profundidad (cm)
Observaciones:	
Clase de horizonte	Profundidad (cm)
Observaciones:	

Fuente: Elaboración propia (2024)

2.8. Para la caracterización de la biología del suelo

Con vistas a evaluar la diversidad del suelo en cada uno de los terrenos, se utilizaron diversos métodos que permitieron analizar la artropofauna a dos niveles y la microfauna, brindando información sobre las dinámicas del suelo en distintas escalas tróficas.

2.8.1 Macrofauna

La macrofauna de cada finca se recolectó extrayendo tres monolitos de 30 cm de largo, 30 cm de ancho y 30 cm de profundidad (Figura 3). La extracción se realizó con un palín, lo que facilitó obtener las muestras para

su análisis. En total, se levantaron 45 monolitos en todo el municipio. La selección de los monolitos se hizo aleatoriamente en cada finca, asegurando que su cobertura fuera representativa, lo cual es esencial para identificar la fauna relacionada con las características específicas del suelo de cada lugar.



La recolección de fauna en cada monolito se realizó de manera segmentada, examinando fragmentos de aproximadamente 10 cm en bandejas blancas con la ayuda de una lupa. Esto facilitó la identificación y recolección de artrópodos, anélidos y otros taxones con pinzas entomológicas. Cada espécimen fue almacenado en frascos herméticos con alcohol al 70%, correctamente etiquetados.

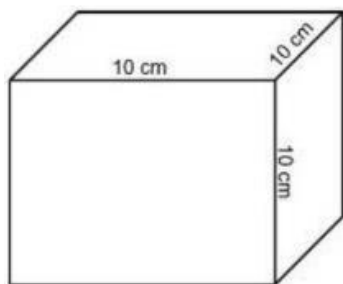
Posterior a la recolección, el material biológico fue revisado y se cambió el alcohol para prevenir su deterioro por la presencia de otros materiales. Un taxónomo determinó las categorías con el apoyo de un estereoscopio y claves dicotómicas como las de Carvalho (1972) para Miridos et al. (1998) para Thysanoptera et al. (2000), Castañeda et al. (2007) para Coleoptera et al. (2005) para corroboración de otros individuos recolectados.

2.8.2 Mesofauna

Para el estudio de la mesofauna en cada uno de los sistemas productivos, aleatoriamente se extrajeron dos monolitos con dimensiones de 10 cm de ancho, 10 cm de largo y 10 cm de profundidad (Figura 4). Las muestras fueron depositadas en bolsas ziplock identificadas por cada finca. Se procedió a colocarlas por 72 horas en un embudo de Berlese – Tullgren para que los artrópodos cayeran en alcohol al 70% permaneciendo allí por 72 horas más. Finalmente, se sistematizó la información. Para la identificación de ácaros se emplearon claves dicotómicas de Krantz (2009).

Figura 4

Monolito para mesofauna.



Fuente: Elaboración propia (2024)

2.8.3 Microfauna

Para el muestreo, se tuvo en cuenta 10 puntos aleatorios en cada finca en transición hacia la producción agroecológica en donde se tomaron 10 submuestras cada una de 100 gramos a 20 cm de profundidad. Se uniformaron y se obtuvieron muestras de 500 gramos por finca que fueron transportadas a 4°C de manera aislada hasta su extracción.

Para la identificación de los nemátodos se tomó una muestra de 100 gramos la cual se mezcló en 2 litros de ADE (Agua Destilada Estéril), agitándose durante 30 segundos y permaneciendo 2 minutos en reposo. La suspensión obtenida se pasó por tamices de 250 a 350 μm recolectando lo nemátodos en tamiz de 37 μm (Figura 5). De acuerdo a Caveness y Jensen (1955) la suspensión se empleó para extracción de nemátodos mediante centrifugación por 5 minutos a 3.500 rpm y flotación con azúcar en proporción 1:1. Se realizó de nuevo otra centrifugación por 2 min. a 1.000 rpm para recolectar a través de un tamiz los nemátodos. Los individuos recolectados fueron almacenados en tubos de ensayo con agua destilada estéril para su identificación.

Figura 5
Monolito para mesofauna.



Fuente: Elaboración propia (2024)

Para la obtención de protozoarios se tomaron muestras de 50 gramos de suelo disueltas en agua destilada estéril. Esta mezcla se agitó para su homogenización y se dejó reposar por tres días. Con la ayuda de un

estereoscopio, se identificaron los protozoarios presentes en el sobrenadante de dicha mezcla.

Finalmente, para la obtención de Rotíferos y Turbelarios y se tomaron muestras de 50 gramos de suelo mezclado con 500 mL de ADE licuándose por 5 seg. y filtrándose por tamices de 2000, 1000, 450 y 300 μm . La solución fue llevada a un estereoscopio para identificación.

Análisis de datos

Se elaboraron curvas de rangos de abundancia para de esta manera determinar los patrones de distribución de las especies identificadas. Con los datos de riqueza y abundancia, se determinaron índices de biodiversidad como:

- Índice de riqueza específica: S.
- Índice de equidad de abundancia: (Shannon-Wiener) $H' = - \sum (p_i) \ln (p_i)$.
- Índice de diversidad de especies de Margalef= $DMg = (S-1)/ \ln (N)$.
- Índice de dominancia de Simpson (D) = $\sum p_i^2$.

Siendo,

S= Número de especies identificadas.

N= Número total de individuos de todas las especies.

p_i = Proporción de la abundancia de una especie i, en relación al total de individuos de todas las especies.

Se realizó análisis de clasificación automática o clúster de conglomerados jerárquicos para conocer la similaridad de las fincas, con relación a estos indicadores de biodiversidad por grupos (macrofauna, mesofauna y microfauna). Se empleó el paquete estadístico SPSS.

2.9 Inventario forestal

Con base en el impacto de las especies forestales presentes en un ecosistema, se llevó a cabo la realización del inventario para analizar su potencial, aprovechamiento, aportes e interacción en cada finca. Se realizaron

muestreos en cada finca en transición hacia la producción agroecológica mediante inspección visual basados en los siguientes ítems:

- Especies presentes, cantidad, vitalidad.
- Área de cobertura.
- Estado de la plantación, funciones y beneficios en el sistema de producción.

El muestreo para el inventario forestal se encaminó en las 15 fincas participantes en el proyecto en transición hacia la producción agroecológica en el municipio de Arboledas, entre marzo y abril de 2018, y se repitió al final del proyecto. Para la caracterización de las especies de plantas, se consideraron los sitios establecidos por los dueños de las fincas, que usualmente ya estaban acondicionados para esta actividad o en fase de reposo tras épocas de siembra, resultando en una baja riqueza de plantas nativas.

Se realizaron recorridos por las áreas de las fincas para censar las especies arbóreas, con reconocimiento directo en campo y apoyo de una persona local para identificar los nombres comunes. Se tomaron fotografías detalladas de cada especie arbórea presente para su verificación y reconocimiento taxonómico.

Se determinó la abundancia de cada especie vegetal por finca y se calcularon los indicadores de biodiversidad recomendados por Moreno (2001):

- Índice de riqueza específica: S.
- Índice de equidad de abundancia: (Shannon-Wiener) $H' = - \sum (p_i) \ln (p_i)$.
- Índice de diversidad de especies de Margalef= $DMg = (S-1) / \ln (N)$.
- Índice de dominancia de Simpson (D) = $\sum p_i^2$.

Siendo,

S= Número de especies identificadas.

N= Número total de individuos de todas las especies.

p_i = Proporción de la abundancia de una especie i , en relación al total de individuos de todas las especies.

2.10 Validación de modelos agroforestales

2.10.1 Efecto de los modelos agroforestales sobre la calidad hídrica

El segundo muestreo se realizó para caracterizar las propiedades físico-químicas del agua. Durante los meses de marzo y abril de 2019, se tomaron 30 muestras de agua; dos por cada uno de las 15 fincas del proyecto y otras dos al finalizarlo. Se siguió el mismo procedimiento descrito anteriormente, identificando las muestras de cada finca. Estas se recolectaron en el centro del flujo de agua para asegurar su representatividad y luego se enviaron al laboratorio para determinar las propiedades mencionadas en epígrafes anteriores.

La comparación estadística se realizó mediante la prueba t de Student entre los dos muestreos empleando el software SPSS con una significancia del 5%.

2.10.2 Efecto de los modelos agroforestales sobre las variables físico-químicas del suelo

Para analizar el efecto de los policultivos sobre las propiedades físico-químicas del suelo, se compararon mediante estadística descriptiva los dos muestreos realizados: Antes y después de la implementación de los modelos comparando las medias de las parcelas agroecológicas y testigo. Se realizó un análisis de comparación por el método de muestras no pareadas mediante la prueba t de Student, con una significancia del 5% usando el software SPSS.

2.10.3 Efecto de los sistemas agroforestales sobre las variables biológicas del suelo

Para analizar el efecto de los policultivos sobre las variables biológicas del suelo, se compararon los dos muestreos realizados teniendo como base los siguientes índices de biodiversidad:

- Abundancia.
- Índice de diversidad de especies de Margalef.

- Índice de riqueza específica.
- Índice de dominancia de Simpson.
- Índice de equidad de abundancia.

Se realizaron análisis descriptivos de las variables estudiadas.

2.10.4 Valoración de los sistemas agroforestales implementados

Se recopiló información desde la selección inicial de cada parcela respecto a las prácticas agroecológicas implementadas. Estas prácticas fueron consideradas antes de la siembra, durante la misma, así como posteriormente durante el desarrollo de la plantación.

Se hicieron bases de datos y se compararon gráficamente las parcelas que adoptaron prácticas agroecológicas contra las parcelas testigos, así como entre diferentes modelos de policultivos. Esta información también se utilizó para analizar el desarrollo de los cultivos y su impacto sobre la prevalencia de plagas y enfermedades.

2.10.5 Desarrollo de los policultivos

Se ajustaron los 3 modelos agroecológicos a implementar, realizando talleres participativos con los productores. En la siguiente tabla, se presentan los cultivos seleccionados para cada modelo.

Tabla 5

Conformación de modelos agroecológicos

Modelo agroecológico	Cultivos
Modelo 1	Cedro, limón y maíz
Modelo 2	Cedro, aguacate y maíz
Modelo 3	Cedro, aguacate y frijol

Fuente: Elaboración propia (2024)

Se realizó el establecimiento de cada cultivo iniciando por el forestal, seguido del frutal y, por último, el cultivo transitorio.

2.10.5.1 Población de cultivos

Se realizó el cálculo mensual del porcentaje de población por parcela de cada cultivo. Se realizó ANOVA de un factor para cada variable en dos periodos: noviembre de 2018 y febrero de 2019 para los tres modelos agroecológicos. Se consideró la interacción del modelo – finca por municipio comparando de esta manera las fincas.

Los datos en porcentaje se transformaron utilizando la función arcoseno cuadrado raíz ($\sqrt{v\%/100}$) según Lerch (1977). Se verificó la normalidad con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Las medias se compararon utilizando la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p<0,05$. Se realizó un análisis multivariado utilizando el método de clasificación de agrupación en forma de árbol con la población de los cultivos en noviembre de 2018 y febrero de 2019, tanto por modelo agroecológico como por municipio. Se empleó el software estadístico SPSS.

2.10.5.2 Desarrollo de los cultivos por parcela

Con frecuencias mensuales, bimensuales o trimestrales, se midieron las variables morfométricas de los cultivos en los sistemas agroforestales en el periodo comprendido entre noviembre del 2018 y abril del 2019.

Tabla 6
Variables morfométricas evaluadas

	Cultivos		
	Cedro	Aguacate	Limón Tahití
Mes de evaluación	Febrero – marzo y abril	Enero – febrero – marzo y abril	Enero – febrero – marzo y abril
Variables	Diámetro de tallo y altura		

Fuente: Elaboración propia (2024)

Las variables morfométricas fueron medidas semanalmente al mismo tiempo en ambos tipos de parcela para las diferentes especies de árboles forestales y frutales semiperennes, como se detalla en la Tabla 6. Se realizó ANOVA de unifactorial para cada una de las variables morfoagronómicas comparando las parcelas testigos versus las parcelas agroecológicas. Para comparar los cultivos forestales, fueron considerados los tres sistemas de cultivos, debido

a su repetición dentro del municipio, mientras que, para los demás cultivos, las comparaciones se realizaron entre las parcelas testigos y las parcelas agroecológicas dentro de cada uno de los sistemas agroforestales.

Los datos fueron analizados después de la verificación del supuesto de normalidad a través la prueba de Kolmogorov-Smirnov- Las medias de los tratamientos se compararon por medio del test de Tukey con significancia del 5%. Se empleó el software estadístico SPSS.

2.10.5.3 Dinámica de plagas y enfermedades

Para evaluar la incidencia de las plagas y las enfermedades, fue realizado un monitoreo para estimar la incidencia, frecuencia y distribución, además, del impacto económico de los organismos en los cultivos -permitiendo esto- elaborar una estrategia agroecológica MIPE (Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades).

Los muestreos se realizaron mensualmente para evaluar la incidencia de los agentes nocivos, considerando el umbral de daño económico. La recopilación y análisis de la información recolectada fueron fundamentales para tomar decisiones estratégicas a lo largo del proyecto.

Durante el proyecto, se registró la incidencia, severidad y frecuencia de los agentes nocivos en los cultivos en intervalos regulares de treinta días, tanto en sistemas agroecológicos como convencionales. Este monitoreo se adaptó al desarrollo fenológico de los cultivos, abarcando un seguimiento continuo de al menos 11 meses, con reportes mensuales basados en la situación de cada sistema agroforestal en la zona de estudio específica.

Para los ácaros e insectos plagas, se realizaron conteos directos para determinar la incidencia por planta afectada en relación con el total evaluado representado el por ciento, así como el nivel poblacional en términos de individuos por planta u órgano afectado (promedio aritmético).

Para evaluar las enfermedades, se empleó una escala de grado de tipo general conformada por 6 clases (de 0 a 5) para describir la severidad basada en el porcentaje de área foliar afectada. La distribución o incidencia de cada enfermedad se calculó mediante la fórmula:

% Incidencia = (Número de plantas afectadas / número total de plantas evaluadas) x 100.

Además, se evaluó la intensidad o severidad del ataque utilizando la fórmula de Townsend y Heuberger:

$$\% I = (\sum(a \times b) / K \times N) \times 100$$

Donde:

a: Un grado determinado de la escala de severidad.

b: El número de plantas con un grado de severidad determinado.

K: Máximo grado de la escala.

N: El total de plantas muestreadas.

Se evaluaron 50 plantas para cultivos de porte bajo y 20 árboles para cultivos de mayor tamaño, examinando ramas por cuadrantes y evaluando follaje, flores y frutos. La incidencia y severidad se midieron específicamente en follaje y solo se evaluó la incidencia en frutos, flores y enfermedades del tallo o raíz.

Para ácaros y plagas de insectos, se realizó la evaluación de la incidencia (%) en las plantas, ramas y hojas de acuerdo a cada cultivo. La severidad se estimó con la población media por hoja, rama o fruto y el número de organismos por cada órgano o planta muestreada. Con relación al picudo negro del plátano, fueron colocadas trampas de tocón o pseudotallo y se contabilizaron los insectos adultos capturados/trampa a las 24 horas después de colocadas.

2.11 Validación social de los modelos agroforestales

Para la realización de la validación de los modelos agroforestales desde el punto de vista social y de manera participativa con los productores involucrados en el proyecto, se organizó un taller participativo en el municipio de Arboledas. Durante el mismo, se llevaron a cabo mesas de trabajo con los agricultores, que incluyeron a los líderes y las familias de las cinco fincas participantes, seguidas de una sesión plenaria donde se expusieron los resultados.

En las mesas de trabajo se utilizó la matriz DOFA como herramienta de investigación, para que los agricultores identificaran y discutieran las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas de los diseños agroecológicos. El facilitador guio este proceso y como resultado, se generó un plan de acción para mejorar significativamente los modelos agroecológicos. Las propuestas de mejora incluyeron la optimización de los sistemas agroforestales, la difusión de los modelos exitosos entre otros agricultores en la región, la garantía de la sostenibilidad de los resultados del proyecto y el establecimiento de bases para futuros proyectos de esta índole en el municipio de Arboledas.

En el plenario se designó un moderador para dirigir la actividad, donde cada líder expuso el análisis DOFA correspondiente a su modelo agroecológico. Durante esta sesión, también se presentaron y discutieron las propuestas de mejora continua. Posteriormente, se tabularon y analizaron los datos de la matriz para determinar los modelos de mayor éxito, el grado de aceptación y de adopción, así como la conformación de estrategias para establecer el plan de acción que guíe hacia el logro de los objetivos establecidos. Con estas conclusiones y el nivel de coincidencia de las mejoras propuestas se resumieron a nivel de municipio y de proyecto, sirviendo como directrices para futuros proyectos aprobados por Colciencias.

Además, se aplicó una encuesta compuesta por 10 preguntas al líder de cada finca para conocer el grado de satisfacción con el modelo agroforestal y el proyecto en general, así como disposición para socializar la tecnología y para participar en proyectos similares en el futuro.

CAPÍTULO 3

Resultados y análisis

Resultados y análisis

3.1 Ajuste participativo de los sistemas agroforestales con productores

Producto de las mesas de trabajo, se seleccionaron los siguientes cultivos para cada modelo agroecológico (Tabla 7):

Tabla 7
Modelos agroecológicos propuestos en el municipio de Arboledas

Nº	Propietario	Modelo agroecológico	Altura (msnm)
1	José Adalberto Rondón	Modelo 1: Forestal – Limón – Maíz	1018
2	Jean Alexander Rojas	Modelo 1: Forestal – Limón – Maíz	964
3	Alba Marina Ardila	Modelo 1: Forestal – Limón – Maíz	1374
4	Andrés Uribe	Modelo 1: Forestal – Limón – Maíz	1319
5	Ana de Jesús Laguado	Modelo 1: Forestal – Limón – Maíz	1564
6	Luis Miguel Jaimes	Modelo 2: Forestal – Aguacate – Maíz	1242
7	Nelsy Gelves	Modelo 2: Forestal – Aguacate – Maíz	1175
8	Agustín Laguado	Modelo 2: Forestal – Aguacate – Maíz	1109
9	Francisco Mogollón	Modelo 2: Forestal – Aguacate – Maíz	1174
10	Obdulio tuta	Modelo 2: Forestal – Aguacate – Maíz	1412
11	Javier Antonio Ardila	Modelo 3: Forestal – Aguacate – Frijol	1611
12	Gerardo Esteban Leal	Modelo 3: Forestal – Aguacate – Frijol	1656
13	Hermes Contreras	Modelo 3: Forestal – Aguacate – Frijol	1463
14	Diego Marciales	Modelo 3: Forestal – Aguacate – Frijol	1487
15	Jimmy Corredor	Modelo 3: Forestal – Aguacate – Frijol	941

Fuente: Elaboración propia (2024)

En común acuerdo con los productores, se llegó al siguiente consenso (Tabla 8):

Tabla 8
Cultivos propuestos y definitivos por modelo agroecológico

Modelo agroecológico		Cultivo forestal	Cultivo semiperenne	Cultivo transitorio
Modelo 1	Inicial	Forestal	Limón	Ahuyama
	Final	Cedro	Limón	Maíz
Modelo 2	Inicial	Forestal	Aguacate	Maíz
	Final	Cedro	Aguacate	Maíz
Modelo 3	Inicial	Forestal	Aguacate	Maíz
	Final	Cedro	Aguacate	Frijol

Fuente: Elaboración propia (2024)

Posterior a ello, se seleccionaron las variedades para los cultivos transitorios y semiperenne, además, de su densidad poblacional (Tabla 9):

Tabla 9
Características de los modelos agroforestales aprobados por los agricultores

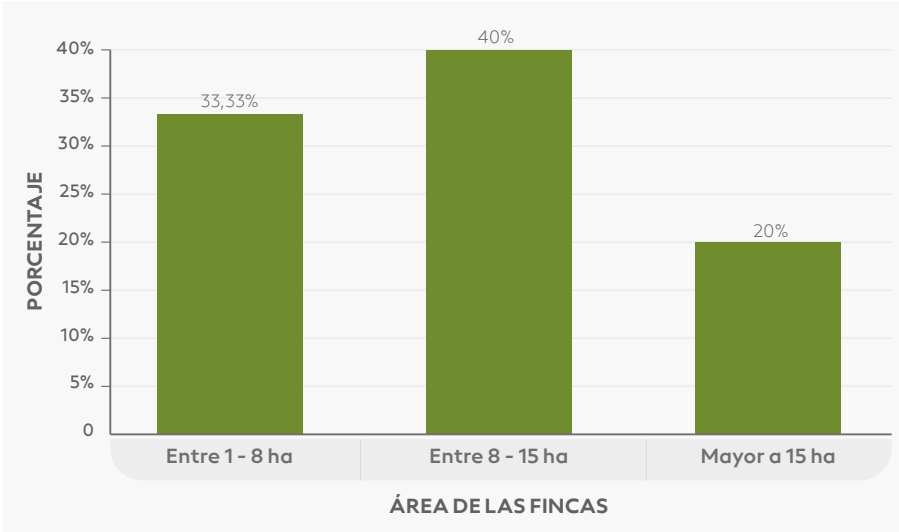
	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3	
Cultivo forestal	Cedro		Cedro		Cedro	
	Plantas / ha	20	Plantas / ha	20	Plantas / ha	20
Cultivo semiperenne	Limón Tahití		Aguacate		Aguacate	
	Plantas / ha	204	Plantas / ha	156	Plantas / ha	156
Cultivo transitorio	Maíz		Maíz		Frijol	
	Marco siembra	0.3 x 0.5	Marco siembra	0.3 x 0.5	Marco siembra	0.3 x 0.5

Fuente: Elaboración propia (2024)

3.2 Caracterización socioeconómica

Respecto a la tenencia de la tierra, el 88,67% son propietarios. El 40% del área de las fincas agropecuarios está comprendida entre 8 y 15 hectáreas (Figura 6).

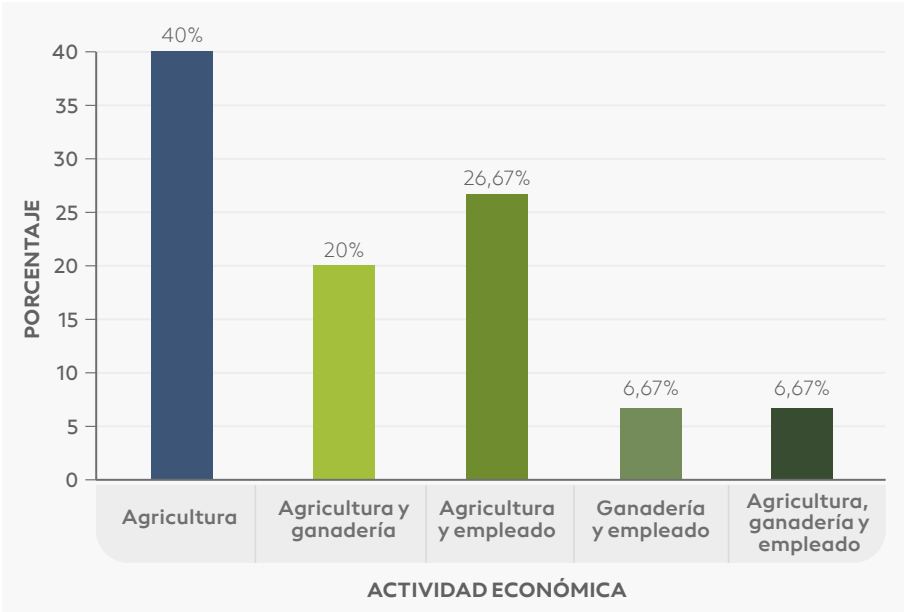
Figura 6
Área de las fincas agropecuarias.



Fuente: Elaboración propia (2024)

El núcleo familiar está conformado por cuatro personas en un 60% de los casos, en tanto, el porcentaje restante, los integrantes de la familia ascienden a 5 y 6 personas. En el aporte económico como sustento para el núcleo familiar, en el 53% de los hogares está labor a cargo del padre, mientras que en el 47% es realizado por padre y madre. La actividad económica principal es la agricultura con el 40%. Sin embargo, también se adelantan otras actividades como la ganadería (Figura 7). En el 50% de las familias, los dos padres se encargan de la educación de los hijos.

Figura 7
Principales actividades económicas.

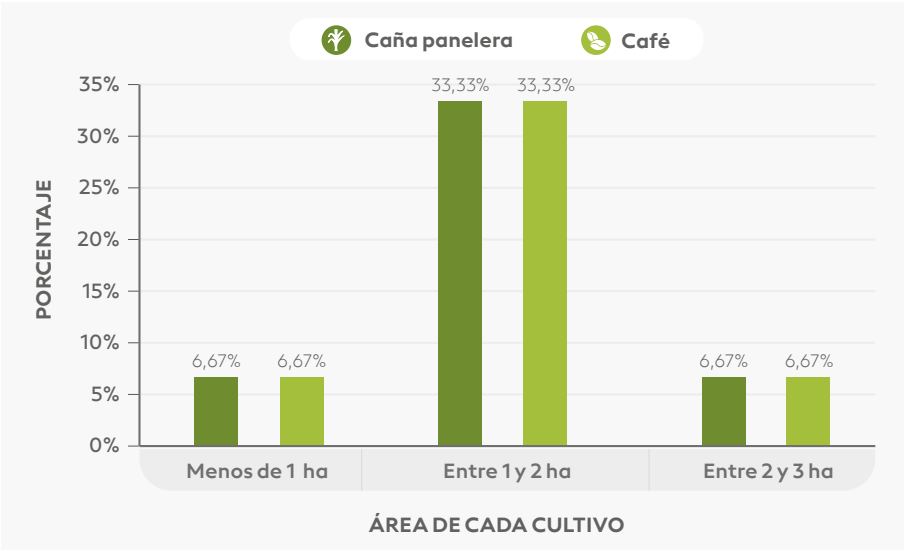


Fuente: Elaboración propia (2024)

3.3 Caracterización agroeconómica

La totalidad de los productores son propietarios del área empleada para el desarrollo de los procesos productivos agropecuarios. Se resalta el cultivo de caña panelera, siendo uno de los principales sistemas productivos del municipio. Además, el café sobresale como cultivo de interés económico estando establecido y manejado en el 47% de las fincas. En la siguiente figura, se presentan las áreas manejadas para estos dos cultivos en el municipio de Arboledas.

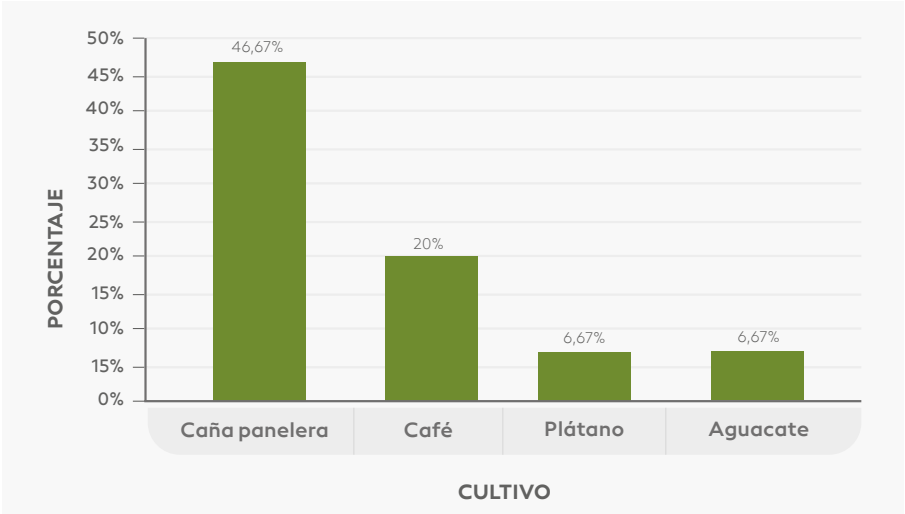
Figura 8
Áreas dedicadas a la producción de caña panelera y café.



Fuente: Elaboración propia (2024)

Los frutales solo se establecen y manejan en el 33% de las fincas mientras que en el 66,67% de las mismas no se cultiva el plátano y más del 73% no cultiva el aguacate. Para el cacao solo el 6,67% de las fincas en transición hacia la producción agroecológica reportaron tener establecida menos de una hectárea de este cultivo. En la Figura 9 se pueden observar los cultivos destacados como principales por los productores.

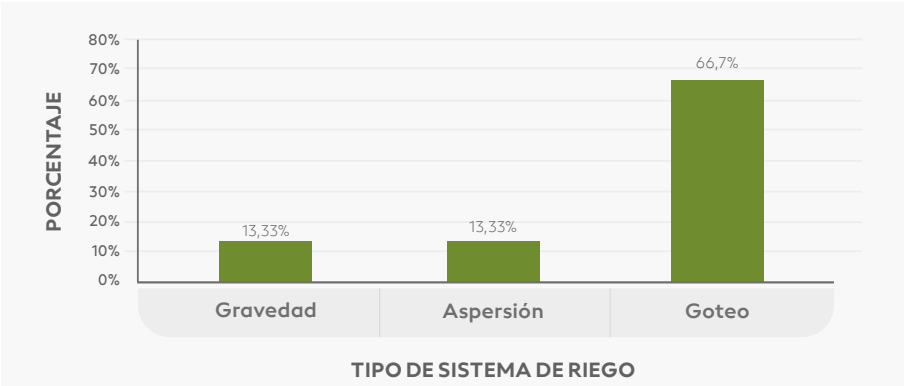
Figura 9
Principales cultivos en el municipio de Arboledas.



Fuente: Elaboración propia (2024)

En relación al uso de sistemas de riego, solo el 6,67% de las fincas lo implementan en sus cultivos. Las demás dependen del factor lluvia para el suministro del recurso hídrico a los cultivos. En la siguiente figura, se presentan los principales sistemas de riego empleados por los agricultores en sus fincas.

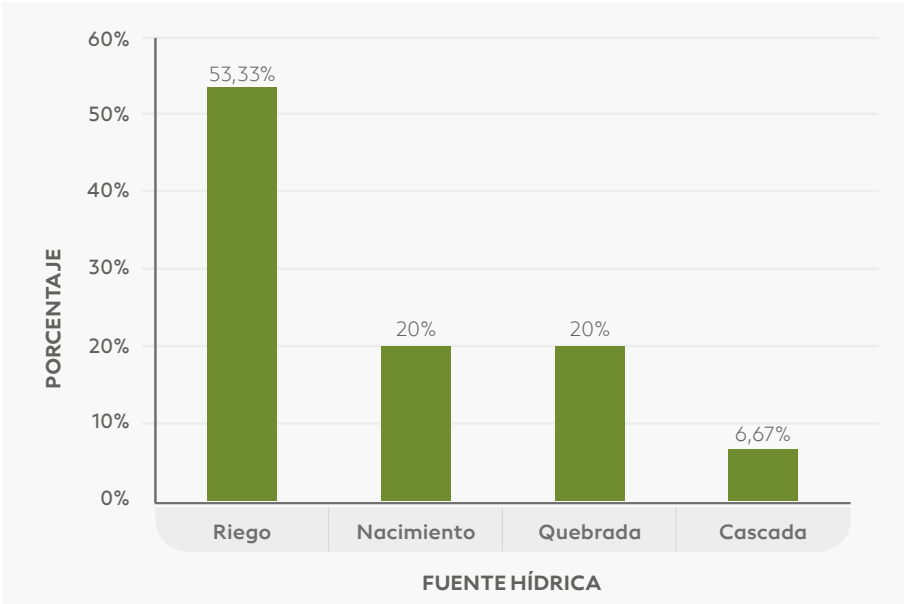
Figura 10
Principales tipos de sistema de riego.



Fuente: Elaboración propia (2024)

Como fuentes de abastecimiento de agua para el sistema de riego, se tienen al acueducto municipal, nacimiento y en mayor proporción quebradas de donde se hace la captación (Figura 11).

Figura 11
Fuente hídrica para abastecimiento del sistema de riego.



Fuente: Elaboración propia (2024)

Adicional a ello, el 86,67% de los productores afirma no contar con análisis microbiológicos y físico químico del agua empleada para riego. Situación similar, ocurre con el análisis de suelo, donde la totalidad de los productores no cuentan con esta herramienta para la toma de decisiones.

En la productividad del cultivo principal en cada finca en transición hacia la producción agroecológica, los productores manifiestan que no se han presentado diferencias en cuanto a la cantidad obtenida en los últimos tres años. Tan solo el 6,67% menciona que la producción ha mejorado cuando realiza fertilización, mientras que el restante de los productores no la realiza debido a que no observa mejoras en la productividad y si incurren en gastos adicionales que afectan el margen de rentabilidad.

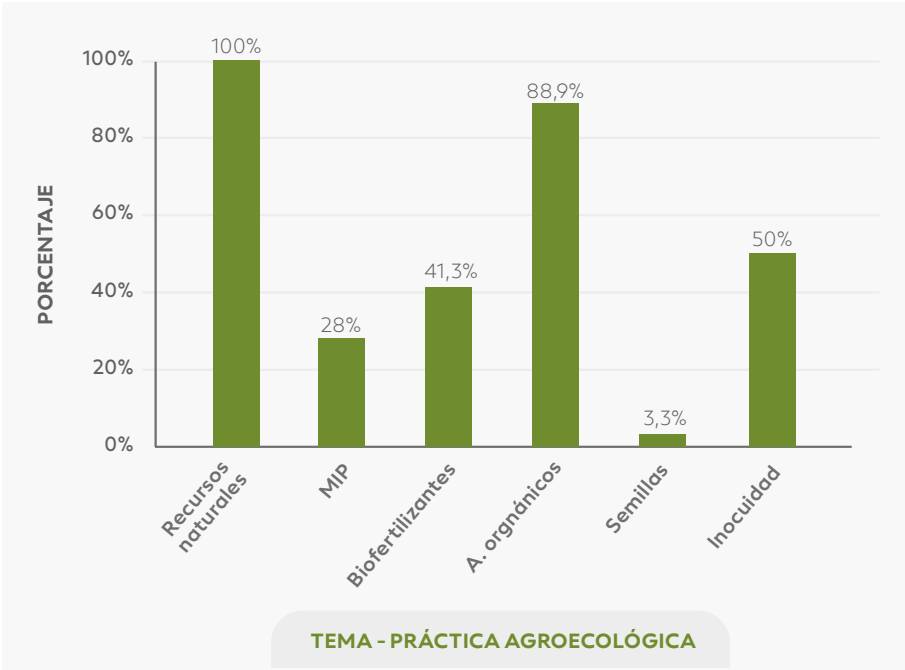
En relación al cultivo de la caña panelera, los productores manifiestan que su comercialización se realiza a través de la industria azucarera del municipio manejando el cultivo bajo las Buenas Práctica Agrícolas. Sin embargo, aún se llevan a cabo prácticas como la fertilización química con productos como triple 15, urea y agrocafé. A nivel orgánico, se emplea gallinaza y estiércol de bovino como fuente de materia orgánica para el suelo.

En cuanto a los aspectos organizacionales, ninguno de los productores pertenece a una organización o asociación. El comercio de los productos se realiza mediante intermediarios y mayoristas ubicados en el centro de acopio del municipio (86,87% de los productores). Sumado a ello, los procesos de asistencia técnica son bajos dado que los productores no tienen confianza en los extensionistas.

3.4 Evaluación del nivel de conocimiento agroecológico de los productores

Se resalta que la totalidad de los productores tienen conocimiento sobre el concepto de recurso natural. Además, cerca del 90% de ellos conoce y maneja algún tipo de abono orgánico, lombrihumus y biofertilizante, siendo este último empleado por el 41,3% de ellos. Se destaca, que ven en estos productos una forma de producción limpia y amigable con el ambiente. En contraste, el nivel de conocimiento en temas y prácticas de inocuidad, manejo integrado de plagas y semillas es muy reducido (Figura 12).

Figura 12
Conocimiento en temas - prácticas agroecológicas.



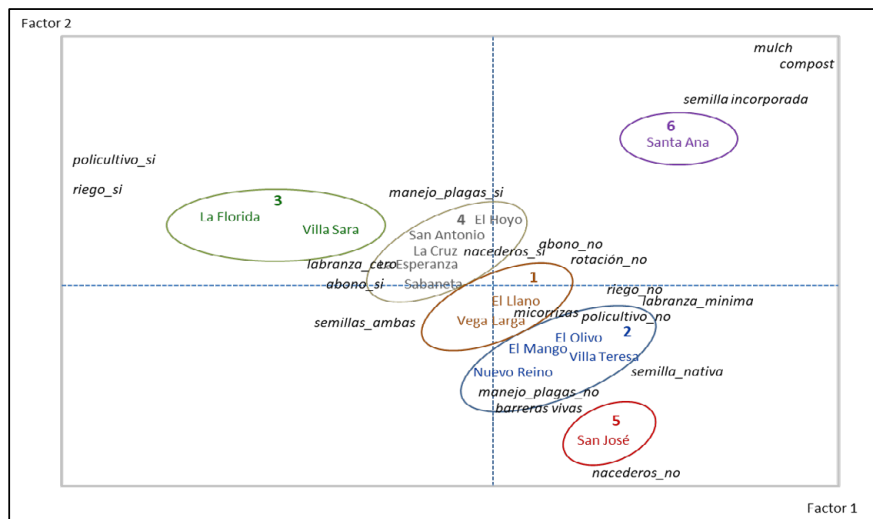
Fuente: Elaboración propia (2024)

3.5 Implementación de prácticas agroecológicas

El plano factorial de un Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM) aplicado sobre la implementación de las prácticas agroecológicas de 15 fincas en transición, hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas, permitió identificar seis agrupaciones obtenidas a partir del análisis de clasificación aplicado sobre las coordenadas del ACM (Figura 13).

Figura 13

Plano factorial ACM-Implementación de prácticas agroecológicas en el municipio de Arboledas.



Fuente: Elaboración propia (2024)

Agrupación 1

Fincas en transición hacia la producción agroecológica:
El Llano y Vega Larga.

Esta agrupación se caracteriza por la realización de prácticas conservacionistas. Se realizan prácticas de manejo de plagas, preparación de abonos, labranza mínima y protección de nacientes hídricas.

Agrupación 2

Fincas en transición hacia la producción agroecológica:
El Olivo, Villa Teresa, El Mango, Nuevo Reino.

En estas fincas se emplean micorrizas para compostaje, se realiza protección de nacientes hídricas y se emplean semillas de procedencia nativa. En contraste, no se efectúa rotación de cultivos ni aplicación de entomopatógenos, fertilizantes ni fitoplagicidas. En las fincas El Olivo, Villa Teresa y Nuevo Reino se trabaja con labranza mínima y en la finca El Mango, con labranza cero.

Las barreras vivas son prácticas rutinarias de las fincas El Mango y Villa Teresa. El control de plagas solo se evidencia en la finca Nuevo Reino y la elaboración de abonos solo es frecuente en la finca El Mango.

Agrupación 3

Fincas en transición hacia la producción agroecológica: Villa Sara y La Florida.

Se emplea la labranza cero y el control de plagas. Se preparan abonos orgánicos y se emplean micorrizas y compostajes. Además, se realiza protección de nacientes hídricas y uso de semillas incorporadas y nativas. La finca La Florida se manejan los policultivos. En estas fincas no se realiza rotación de cultivos ni se emplean fertilizantes, fitoplagicidas ni entomopatógenos.

Agrupación 4

Fincas en transición hacia la producción agroecológica: La Esperanza, La Cruz, El Hoyo, San Antonio y Sabaneta.

Se efectúan prácticas de conservación de nacientes hídricas y se emplean compostaje y micorrizas. En la finca San Antonio se practica labranza mínima mientras que en las cuatro restantes labranza cero. En la finca El Hoyo las semillas son nativas de procedencia mientras que en las demás son incorporadas.

No se emplean los residuos de cosecha para la preparación de abonos. En ninguna finca se usan fertilizantes, fitoplagicidas ni entomopatógenos. De la misma manera, los policultivos no son implementados. Las fincas San Antonio y La Cruz realizan control de plagas.

Agrupación 5

Finca en transición hacia la producción agroecológica San José.

Se emplea labranza mínima, compostaje y micorrizas. Las semillas son de procedencia nativa. No se establecen policultivos, no hay prácticas de protección de nacientes hídricas, de rotación de cultivos ni de manejo de plagas.

Agrupación 6

Finca en transición hacia la producción agroecológica: Santa Ana.

Se emplea semilla incorporada con procesos de labranza mínima para la siembra. Se realizan prácticas de manejo de plagas y uso de compostaje. No hay rotación de cultivos, no se emplean fertilizantes, entomopatógenos ni fitoplagicidas. No se elaboran abonos y no se establecen policultivos.

3.6 Caracterización físico química del agua

El resultado del ANOVA para la interacción finca por modelo evidenció diferencias para magnesio, y el sodio para el modelo agroecológico 3 (Cedro – Aguacate – Frijol) (Tabla 10).

Tabla 10
Análisis de varianza de los aniones y cationes del agua para la interacción finca por modelo

Cedro – Limón – Maíz						Cedro – Aguacate – Maíz					Cedro – Aguacate – Frijol					CV %	EE
Cationes meq/L	Finca					Finca					Finca						
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
Na	0,39abc	0,38abc	0,17bc	0,14bc	0,16bv	0,11c	0,25cb	0,28abc	0,64a	0,13bc	0,24bc	0,12bc	0,16bc	0,16bc	0,48ab	40,38	0,13
K	0,05a	0,03a	0,02a	0,01a	0,02a	0,02a	0,02a	0,02a	0,05a	0,01a	0,02a	0,01a	0,01a	0,02a	0,06a	37,70	0,07
Ca	1,64a	0,96a	0,19a	0,91a	0,17a	0,38ª	1,28a	1,75a	1,89a	0,88	0,39a	0,21a	0,40a	0,17a	1,56a	0,00	0,00
Mg	0,39ab	0,34ab	0,09ab	0,20ab	0,09ab	0,08ab	0,30ab	0,42ab	0,31ab	0,20ab	0,12ab	0,04b	0,17ab	0,07b	0,58a	73,94	0,44
NH4	0,02a	0,05a	0,05a	0,03a	0,03a	0,05a	0,04a	0,04a	0,03a	0,03a	0,03a	0,03a	0,03a	0,03a	0,03a	56,55	0,09
Suma	2,49a	1,76a	0,51a	1,28a	0,47a	0,63ª	1,88a	2,49a	2,92a	1,24a	0,79a	0,40a	0,77a	0,44a	0,270a	0,00	0,00
Cedro – Limón – Maíz						Cedro – Aguacate – Maíz					Cedro – Aguacate – Frijol					CV %	EE
Aniones meq/L	Finca					Finca					Finca						
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
Cl	0,26a	0,58a	0,26a	0,76a	0,14a	0,06a	0,18a	0,32a	0,66a	0,62a	0,44a	0,14a	0,24a	0,16a	0,56a	49,99	0,49
SO4	0,52a	0,12a	0,08a	0,09a	0,09a	0,14ª	0,69a	0,37a	0,26a	0,09a	0,08a	0,09a	0,07a	0,09a	0,62a	74,81	0,19
CO3	0,05a	0,05a	0,05a	0,05a	0,05a	0,05a	0,06a	0,05a	0,05a	0,05a	0,05a	0,05a	0,05a	0,05a	0,05a	119,13	0,19
HCO3	1,63a	1,30a	0,25a	0,68a	0,05a	0,30ª	0,85a	1,35a	1,85a	0,65a	0,55a	0,10a	0,45a	0,05a	1,10a	0,00	0,00
NO3	0,005a	0,012a	0,017a	0,032a	0,030a	0,030a	0,040a	0,065a	0,005a	0,028a	0,004a	0,020a	0,017a	0,025a	0,010a	70,93	0,37
PO4	0,22a	0,25a	0,18a	0,10a	0,21a	0,12ª	0,19a	0,20a	0,21a	0,09a	0,24a	0,14a	0,15a	0,20a	0,22a	0,00	0,00
Suma	2,67a	2,31a	0,83a	1,70a	0,56a	0,70ª	0,56a	0,70a	2,00a	2,35a	3,03a	1,53a	1,35a	0,54a	0,98a	24,88	0,03

Nota. Medias en las filas acompañadas por letras minúsculas desiguales difieren estadísticamente para p<0,05 según el test de Tukey. CV: Coeficiente de Variación, EE: Error Estándar, K: Potasio Na: Sodio, Ca: Calcio, K: Potasio; Mg: Magnesio, Cl: Cloro, NH4: Amonio, CO₃: Carbonatos, SO₄: Sulfato HCO₃: Bicarbonato, PO₄: Fosfatos NO₃: Nitratos. Fuente: Elaboración propia (2024)

Concentración de cationes en aguas de riego de las fincas

Sodio (Na⁺)

De acuerdo a los resultados, para el Na⁺ la finca 4 del modelo 2 presentó similitud con las fincas 1 y 2 del modelo 1, con la finca 3 del modelo 2 y la finca 5 del modelo 3 y hay diferencias significativas con respecto al resto de las fincas. Así mismo, la finca 1 del modelo 2 difiere con la finca 5 del modelo 3. En los modelos 1, 2 y 3 no hubo diferencias estadísticas ($p > 0,05$) entre las fincas 1, 2, 3 y 5. En el modelo 2 la finca 1 presentó la concentración más baja de Na⁺ cuyo valor difirió estadísticamente de la finca 4 para ese mismo modelo. Es importante destacar que las concentraciones de Na⁺ presentes en las aguas de riego de las fincas, se encuentran dentro del rango permitido para aguas de riego (0-40 meq/L) (Avelar et al., 2023).

Potasio (K⁺)

La concentración de K⁺ no evidenció diferencias entre las fincas en los tres modelos. Al comparar los valores encontrados en las concentraciones de K⁺ con los estándares recomendados en aguas para riego se puede notar que están entre el intervalo permitido (0-0,2 meq/L) (Liang et al., 2021).

Calcio (Ca⁺²)

La concentración de Ca⁺² no arrojó diferencias estadísticas entre las fincas en los tres modelos. Los valores de calcio encontrados en las fincas están dentro de los límites permitidos para las aguas de riego (Can et al., 2014).

Magnesio (Mg⁺²)

La concentración de magnesio encontrada en las aguas de riego de las fincas resultó estadísticamente más alta en la finca 5 (0,58 meq/L), con respecto a las fincas 2 y 4 del modelo 3 y con comportamiento similar en las demás fincas. No se presentó diferencia estadística entre los modelos. Los valores de magnesio encontrados en las fincas están dentro de los límites permitidos para las aguas de riego (Oster et al., 2016).

Amonio (NH₄⁺)

Los niveles de NH₄⁺ en general fue baja y no presentó diferencias estadísticas entre las fincas. Los valores se encuentran en el límite permitido de acuerdo a la normativa vigente (Mohd et al., 2015).

Suma total de cationes

Los mayores valores de cationes se presentaron en la finca 4 del modelo 2 y finca 5 del modelo 3, sin diferencias entre las fincas ni los modelos.

Concentración de aniones en aguas de riego de las fincas

Se presentó comportamiento similar en los niveles de cloruros (Cl-), sulfatos (SO4=), carbonatos (CO3), bicarbonato (HCO3), nitratos (NO3), fosfatos (PO4) y suma total de aniones en las aguas de riego de las diferentes fincas en los tres modelos agroecológicos. De igual forma, las concentraciones de aniones en estas aguas de riego no superan los límites máximos permitidos en la normativa nacional.

Tabla 11

Análisis de varianza de elementos agroquímicos y dureza del agua para la interacción finca en transición hacia la producción agroecológica por modelo

Cedro – Limón – Maíz						Cedro – Aguacate – Maíz					Cedro – Aguacate – Frijol					CV %	EE
Elementos químicos (ppm)	Finca					Finca					Finca						
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
Hierro	0,25a	0,12a	0,26a	0,20a	0,26a	4,02a	0,40a	0,37a	0,16a	0,20a	0,14a	0,45a	0,19a	0,26a	0,15a	174,8	3,76
Manganeso	0,04a	0,05a	0,03a	0,03a	0,02a	0,05a	0,03a	0,02a	0,04a	0,03a	0,02a	0,02a	0,02a	0,02a	0,02a	84,82	0,099
Cobre	0,02a	0,03a	0,01a	0,03a	0,01a	0,02a	0,02a	0,04a	0,66a	0,33a	0,62a	0,02a	0,34a	0,04a	0,34a	0,00	0,00
Zinc	0,63a	0,35a	0,34a	0,34a	0,02a	0,02a	0,04a	0,66a	0,33a	0,62a	0,02a	0,34a	0,04a	0,34a	0,34a	100,26	0,19
Boro	008a	0,13a	0,12a	0,05a	0,10a	0,08a	0,08a	0,16a	0,05a	0,13a	0,04a	0,11a	0,09a	0,14a	0,11a	100,26	0,19
Cedro – Limón – Maíz						Cedro – Aguacate – Maíz					Cedro – Aguacate – Frijol					CV %	EE
Dureza del agua	Finca					Finca					Finca						
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
Dureza total (mg/L)	101,00a	65,00a	13,50a	55,00a	13,25a	23,00a	78,50a	108,00a	109,50a	53,75a	25,50a	12,00a	28,50a	11,75a	106,50a	65,88	0,04
pH	7,85a	7,79a	7,86a	7,64a	8,04a	7,77 ^a	7,72a	7,77a	7,49a	7,45a	7,86a	7,72a	7,43a	7,85a	7,67a	67,10	25,46
CE (mS/cm)	0,32abc	0,22abcd	0,03d	0,14ab ^{cd}	0,04cd	0,08bcd	0,19ab ^{cd}	0,22ab ^{cd}	0,37a	0,15ab ^{cd}	0,06bcd	0,04cd	0,09ab ^{cd}	0,05bcd	0,32ab	3,01	0,16
RAS	0,39a	0,48a	0,50a	0,19a	0,46a	0,32 ^a	0,50a	0,27a	0,75a	0,19a	0,48a	0,39a	0,29a	0,46a	0,47a	46,37	0,05

Valores promedios dentro de las columnas seguidos por letras minúsculas distintas difieren estadísticamente para un nivel de significancia $p < 0,05$ según prueba de Tukey. CV: Coeficiente de Variación, EE: Error Estándar, Fe: hierro, Mn: manganeso, Cu: cobre, Zn: zinc, B: boro, CE: Conductividad Eléctrica, RAS: Relación de Absorción de Sodio. Fuente: Elaboración propia (2024)

Concentraciones de microelementos y dureza en las aguas de riego

Los niveles manganeso (Mn), hierro (Fe), cobre (Cu), boro (B), zinc (Zn) la dureza del agua representada por la concentración de carbonato de calcio (CaCO3), el pH y la relación de absorción de sodio (RAS), no presentaron diferencias estadísticas para las interacciones finca por modelo en el

municipio de Arboledas, con excepción de la Conductividad Eléctrica (CE), que resultó significativamente más alta en la finca 4 del modelo 2 y se diferenció de las fincas 3 y 5 del modelo 1, de la finca 1 del modelo 2 y de las fincas 1, 2 y 5 del modelo 3.

La dureza del agua encontrada en algunas fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio, está relacionada con una elevada concentración de sales. Cuando se usan aguas de riego conocidas como duras se corre el riesgo de tener una elevada precipitación de sales y en consecuencia, que se tapen los sistemas de riego. Las aguas muy duras son poco recomendables en suelos con alto contenido de arcilla debido a que no ayudan a mejorar la permeabilidad del suelo (Carmenates et al., 2013).

El tipo y concentración de sales presentes en el agua de riego disminuyen la disponibilidad de éstas para las plantas afectando el rendimiento. Cuando el nivel de calcio es bajo, el sodio y el magnesio pueden reducir la velocidad de infiltración de agua en el suelo debido al alto radio de hidratación del sodio que causa la dispersión de las partículas finas de arcilla, las cuales incluyen macro y microporos afectando el suministro de agua para las especies vegetales.

Los iones Na^+ , Mg^{2+} , cloro (Cl^-), sulfato (SO_4^-), que provienen del agua de riego o que están en el suelo, pueden acumularse y llegar a niveles que afectan los cultivos dependiendo de la tolerancia de los mismos a un ión dado.

En este sentido, hay que tener especial cuidado con el uso de las aguas de riego de donde se encontraron altas concentraciones de sodio, porque el uso de esas aguas no sólo estaría ocasionando un deterioro de la estructura del suelo sino una reducción en la absorción de agua para las plantas. Así mismo, no se ha demostrado aún que este elemento sea esencial para las plantas cultivadas. En casos de excesos, la sintomatología de toxicidad del sodio en las hojas se evidencia como manchas necróticas de color pardo.

De igual forma, el riego con aguas que contienen sales en solución puede favorecer la salinización del suelo, reduciendo la disponibilidad de agua para el cultivo. Las sales aumentan el esfuerzo de la planta para extraer el agua del suelo, es decir, afecta el potencial osmótico de las plantas. El tipo de daño

se identifica por una disminución en la producción proporcional al aumento en la salinidad en los suelos por encima de un cierto nivel crítico (Rodríguez et al., 2019).

La dureza del agua está relacionada con altos niveles de sales, en contraste con el agua “blanda”. Aguas de riego con una mayor dureza traen como consecuencia un alto riesgo de precipitaciones y taponamientos de los sistemas de riego tal como lo señala Carmenates et al. (2013), cuando el agua de riego se considera muy dura, incrementa el riesgo de obturaciones de naturaleza química en los emisores de los sistemas de microirrigación.

En las fincas con alto contenido de sodio, las aguas con mucho calcio pudieran compensar el efecto negativo del sodio. Por lo tanto, una estrategia para recuperar el suelo es el uso de agua dura para compensar el efecto del sodio. El agua dura es poco recomendable en suelos con alto nivel de arcilla debido a que no ayudan a mejorar la permeabilidad del suelo.

En las aguas de riego de las fincas del municipio de Arboledas, la dureza está asociada a la presencia de carbonatos de calcio, en este sentido, este tipo de aguas se clasifican como de dureza temporal, la cual es la más común y se relaciona directamente con la alcalinidad. A mayor dureza de carbonatos el agua será más estable en relación con la capacidad de las aguas de neutralizar posibles desequilibrios y cambios bruscos en el potencial hidrogeno (pH).

3.7 Clasificación agroquímica y taxonómica del suelo

La caracterización del suelo permitió identificar las principales propiedades, su distribución, siendo esto una herramienta primordial para el establecimiento de los sistemas agroforestales.

3.7.1 Clasificación agroquímica del suelo

En la Tabla 11 se presentan las medias encontradas de los macronutrientes, encontrados en las fincas en transición hacia la producción agroecológica. Estos valores presentaron variabilidad espacial elevada, reflejada en el coeficiente de variación y en la diferencia entre el valor mínimo. Dicha variabilidad corresponde a una condición inherente al suelo, resultante de las diversas interacciones que se dan en los procesos de formación de este,

así como del uso antrópico a los que son sometidos y que para el caso de las propiedades químicas y elementos nutrientes el CV normalmente obtiene valores entre 25 y 400 (Jaramillo, 2002).

Tabla 11

Concentraciones de macroelementos presentes en los suelos.

	Unidad	Media	Mínimo	Máximo	D.E.	CV (%)
N-NH⁴⁺	ppm	5,8	2	12	2,73	47,14
N-NO₃⁻		22,33	5	80	22,88	102,47
P	Meq / 100 g	6,4	1	79	15,10	235,9
Mg		1,023	0,17	5,24	1,07	104,5
S		3,6	1	17	4,38	121,76
K⁺		0,26	0,05	1,31	0,25	98,62
Ca		4,64	0,31	21,14	5,42	116,9
CIC		17,2	7	28	6,44	37,3

N-NH₄⁺: Nitrógeno disponible en forma de amonio; N-NO₃⁻: Nitrógeno disponible en forma de nitrato; Mg: magnesio; P: Fósforo; S: Azufre; Ca: Calcio; K: Potasio CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico. DE: Desviación Estándar; CV: Coeficiente de Variación. Fuente: Elaboración propia (2024)

En relación al nitrógeno disponible, se obtuvieron valores que corresponden a un nivel medio de acuerdo con lo establecido por el IGAC (1996), de donde se deduce que se obtendrá una respuesta moderada a buena en la productividad de los cultivos con la fertilización nitrogenada. El nivel medio de nitrato fue más elevado que las concentraciones de amonio. Lo anterior es importante dado que, en condiciones adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas, la mayor parte del amonio edáfico se convierte en nitrato, siendo este último inmediatamente disponible para uso de las plantas y microorganismos del suelo. En las visitas a las fincas de estudio, se encontró que los agricultores comúnmente usan cantidades elevadas de nitrógeno -por encima de lo recomendado- sin tener en cuenta el balance con el potasio, con tendencia a reducir el rendimiento de cultivos.

En cuanto al fósforo los valores promedios son bajos, según lo reportado por el IGAC (1996), esperándose una muy buena respuesta en la producción vegetal a la fertilización con fuentes solubles de fósforo. Niveles muy

elevados de fósforo pueden explicarse debido al efecto de la práctica de la fertilización por parte del agricultor y no a la fertilidad natural de suelo, puesto que la región andina se caracteriza por presentar suelos con niveles reducidos de este elemento.

Los niveles promedio de potasio (K) y calcio (Ca), encontradas en los suelos de las 15 fincas del estudio son catalogadas como medias, mientras que para magnesio (Mg) y azufre (S) son bajas. La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) promedio encontrado en los suelos de las 15 fincas estudiadas fue media. Lo que significa la existencia de una buena saturación de bases y una gran capacidad potencial del suelo para el suministro y reserva de potasio, magnesio y calcio. Estos resultados permiten deducir que las respuestas a la fertilización o enmiendas con K, Ca, Mg y S, serán buenas en términos de producción agrícola.

En la Tabla 12 se observan los niveles medios, máximos y mínimos de los micronutrientes de los suelos de las fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas, donde se establecieron los modelos agroforestales. Los resultados presentan variabilidad espacial muy elevada, de acuerdo al coeficiente de variación y en la diferencia entre el valor mínimo y el valor máximo lo que es propio de la naturaleza de los suelos, en donde los valores del CV corresponden al rango esperado para los elementos nutrientes (Jaramillo, 2002).

Tabla 12

Concentraciones de microelementos presentes en los suelos

	Unidad	Media	Mínimo	Máximo	D.E.	CV (%)
Zn	ppm	2,26	0,2	5,9	1,33	59,07
B		0,132	0,05	0,21	0,043	32,83
Fe		0,15	0,05	0,3	0,08	51,1
Mn		1,99	0,2	6,6	1,50	75,68
Cu		160,93	43	439	84,23	52,34
Na	Meq / 100 g	36,73	2	144	42,42	115,49
Al		0,29	0,1	0,5	0,10	33,09
Cl		0,66	0,52	0,88	0,10	15,43

B: Boro; Zn: Zinc; Na: Sodio; Fe: Hierro; Al: Aluminio; Mn: Manganeseo; Cl: Cloro; Cu: Cobre. DE: Desviación Estándar; CV: Coeficiente de Variación. Fuente: Elaboración propia (2024)

En cuanto a los resultados promedios de los micronutrientes se encuentran en niveles bajos salvo el zinc (Zn) que está en nivel medio y el hierro (Fe) en nivel alto, lo que es común que en todos los suelos tropicales el hierro esté en niveles altos (Jaramillo, 2002).

Los valores promedios de los macronutrientes y micronutrientes encontrados corresponden a niveles bajo a medio conforme a los niveles críticos descritos por el IGAC (1996). Estas diferencias pueden ser explicadas por la variabilidad de los suelos en su proceso de formación siendo en este caso de tipo coluvial, además, de movimiento de material por procesos de deslizamiento (IGAC, 2004 y Jaramillo, 2002). La mayor parte de los suelos presentan fertilidad baja, siendo muy pocas fincas en donde se encontraron concentraciones elevadas de algunos nutrientes, explicándose esto, debido a los residuos de procesos de fertilización y aplicación de enmiendas aplicadas sin tener en cuenta los resultados del análisis de suelo.

Los resultados anteriores coinciden con el estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento Norte de Santander publicado por IGAC (2004), donde se encuentra que las diferentes consociaciones cartográficas de suelos presentes en el municipio de Arboledas presentan en su mayoría una baja fertilidad natural y corresponden a la clase VII por su vocación de uso, lo que hace referencia a tierras marginales de uso agropecuario que deberían dedicarse a la explotación forestal o en su defecto a cultivos perennes, por tener suelos superficiales a moderadamente profundos, presentar afloramientos rocosos con pendientes superiores al 60% y ser susceptibles a la erosión hídrica.

En la Tabla 13 se presenta la comparación de las concentraciones medias de los parámetros químicos y físicos de las parcelas testigo y las agroecológicas. En relación al pH se clasifica en ambos casos como fuertemente ácido sin diferencias a nivel estadístico de acuerdo a la prueba de t Student ($p > 0,05$). A nivel de textura, se clasifican como suelos francos con tendencia a franco – arenoso y franco limoso. Para los parámetros de saturación de bases, densidad aparente, carbono orgánico, materia orgánica, humedad, no se evidenciaron diferencias entre las parcelas testigo y los modelos agroecológicos.

Tabla 13

Comparación de variables químicas y físicas del suelo entre la parcela testigo y la agroforestal

Variable	Parcela		t Student
	Agroecológica	Testigo	
pH	5,1	5,1	0,16 ns
CE m.S/cm	0,2	0,3	1,34 ns
Arena %	31,5	34,7	1,34 ns
Limo %	54,1	52,7	0,2 ns
Arcilla %	14,5	12	0,6 ns
M.O. %	7,1	6,9	0,2 ns
C.O. %	4,1	4,0	0,1 ns
Sat. Humedad %	54,7	54,0	0,2 ns
Sat. Bases %	39,8	49,1	0,50 ns
Dens. A. g/cc	1,0	1,0	0,47

Nota. ns: no significación estadística ($p < 0,05$); para la comparación de medias por el test de t de Student entre de medias de las variables físicas y químicas de las parcelas agroforestales y el testigo para el municipio de Arboledas. MO: Materia Orgánica; CE: Conductividad Eléctrica; CO: Carbono Orgánico; Da: Densidad aparente SB: Saturación con Bases. Fuente: Elaboración propia (2024)

Los resultados obtenidos anteriormente eran esperados conforme a la naturaleza misma del suelo y sus procesos de formación, ya que los cambios en sus propiedades sean significativos, implican varios ciclos productivos, en el caso de las propiedades químicas y biológicas, mientras que para que existan cambios físicos los periodos son de años y décadas (Jaramillo, 2002; IGAC, 2014).

La concentración de materia orgánica se cataloga como baja para regiones entre los 1000 y 2000 msnm. La saturación de bases es media y la conductividad eléctrica indica que no existen problemas de salinidad. Igualmente, no se evidencian problemas de compactación de acuerdo a los valores de densidad aparente (IGAC,1996). Los macronutrientes del suelo de las parcelas testigo y agroecológicas no presentaron diferencias ($p < 0,05$) (Tabla 14).

Tabla 14
Comparación de concentraciones de elementos mayores del suelo entre la parcela testigo y la agroforestal

Variable	Parcela		t Student
	Agroecológica	Testigo	
Potasio (meq / 100 cc)	0,2593	0,2573	0,21 ns
Calcio (meq / 100 cc)	4,323	49,533	0,31 ns
Magnesio (meq / 100 cc)	0,9500	1,1703	0,39 ns
Fósforo (ppm)	3,8667	0,6573	1,62 ns
N-NH ₄ (ppm)	5,9333	5,6667	0,26 ns
N-NO ₃ (ppm)	19,333	25,333	0,71 ns
Azufre (ppm)	2,8000	4,0000	0,74 ns

Nota. ns: no significación estadística (p>0,05); para la comparación de medias por el test de t de Student; N-NH₄⁺: Nitrógeno disponible en forma de amonio; N-NO₃: Nitrógeno disponible en forma de nitrato; Mg: magnesio; P: fósforo; S: azufre; Ca: calcio; K: potasio; CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico. Fuente: Elaboración propia (2024)

La concentración de nitrato y amonio presentó comportamiento similar entre los modelos agroecológicos y las parcelas testigo, sin embargo, se observó tendencia mayor del nitrato en las parcelas agroecológicas (Tabla 15). Este comportamiento puede explicarse dado que, en la parcela agroecológica, las bacterias nitrificantes producen nitrato a partir del amonio (Inpofos, 1997). Los valores de K son clasificados como medios mientras que el S, Ca, Mg y P fueron bajos (Tabla 15).

De acuerdo al IGAC (1996), la CIC en ambos tipos de parcelas presentan concentración media debido a que son inferiores a los 20 meq/100 g de suelo.

Los niveles medios de los micronutrientes en las parcelas testigo y agroecológicas no presentaron diferencias a nivel estadístico (Tabla 15).

Tabla 15
Niveles de microelementos y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) entre las parcelas testigo y agroecológicas

Variable	Parcela		t Student
	Agroecológica	Testigo	
Zn (ppm)	0,14	0,15	1,44 ns
B (ppm)	0,66	0,65	0,17 ns
Fe (ppm)	148,26	173,60	0,81 ns
Mn(ppm)	39,93	33,53	0,40 ns
Cu (ppm)	0,30	0,28	0,56 ns
Na (meq / 100 g)	2,16	2,35	0,39 ns
Al (meq / 100 g)	0,12	0,13	0,37 ns
Cl (meq / 100 g)	1,52	1,32	0,33 ns

Nota. ns: no significación estadística ($p>0,05$); para la comparación de medias por el test de t de Student. Zn: Zinc; B: Boro; Na: Sodio; Al: Aluminio; Fe: Hierro; Mn: Manganeso; Cu: Cobre; Cl: Cloro. Fuente: Elaboración propia (2024)

Se resalta que las concentraciones de lo micronutrientes presentaron valores bajos para Cl, Zn, Cu y B. Por su parte, el Mn y Fe fueron altos, aspectos comunes en suelos categorizados como ácidos (Jaramillo, 2002) (Tabla 15).

El Zn junto con el B son los micronutrientes que con más frecuencia limitan los rendimientos de los cultivos en suelos ácidos del trópico, a lo que se suma que el encalado, práctica frecuente para reducir los problemas de acidez del suelo, puede disminuir la disponibilidad de este elemento (Castro, 2004; Jaramillo, 2002).

En relación al efecto de los sistemas agroforestales sobre los niveles de nutrientes en el suelo no se evidenció diferencia, salvo en el nivel de NO₃ en el modelo 2 respecto a los otros dos modelos. La concentración de Cu difirió entre los modelos, siendo superior en el modelo 2 (Tabla 16).

Tabla 16

Comparación de la concentración de elementos químicos del suelo en los modelos agroecológicos

	Unidad	CE – L – M	CE – A – M	CE – A – F	CV (%)	EE*
K	meq / 100 g	0,34 ^a	0,19 ^a	0,23 ^a	67,35	0,08
Ca		2,92 ^a	8,15 ^a	2,83 ^a	98,7	0,08
Mg		0,91 ^a	1,48 ^a	0,68 ^a	107,2	1,57
Na		0,14 ^a	0,18 ^a	0,11 ^a	52,6	0,02
Al		1,85 ^a	1,08 ^a	1,34 ^a	108,4	0,49
CIC		14,80 ^a	18,00 ^a	18,90 ^a	37,21	2,03
Cl		0,65 ^a	0,66 ^a	0,66 ^a	15,6	0,03
P	ppm	2,30 ^a	14,70 ^a	2,20 ^a	225,6	4,55
N-NH₄		5,40 ^a	6,50 ^a	5,50 ^a	48,2	0,88
N-NO₃		15,00 ^b	40,00 ^a	12,00 ^b	88,13	6,22
S		2,80 ^a	5,10 ^a	2,30 ^a	127,4	1,37
Fe		169,40 ^a	147,80 ^a	165,60 ^a	53,89	27,43
Mn		31,70 ^a	50,00 ^a	28,00 ^a	116,30	13,51
Cu		0,24 ^b	0,36 ^a	0,27 ^{ab}	28,85	0,03
Zn		2,24 ^a	2,85 ^a	1,68 ^a	57,01	0,41
B		0,12 ^a	0,13 ^a	0,13 ^a	33,80	0,01

Nota. * Medias en las filas acompañadas por letras minúsculas desiguales difieren estadísticamente para $p < 0,05$ según el test de Tukey. Modelo 1: CE: Cedro, L: Limón, M: Maíz, Modelo 2: CE: Cedro, A: Aguacate, M: Maíz Modelo 3: CE: Cedro, A: Aguacate, F: Frijol. N-NH₄): Nitrógeno disponible en forma de amonio; N-NO₃): Nitrógeno disponible en forma de nitrato; EE: Error Estándar, CV: coeficiente de Variación, K: Potasio Na: Sodio, Ca: Calcio K: Potasio; Mg: Magnesio, Cl⁻: Cloro NH₄⁺: Amonio, CO₃²⁻: Carbonatos, SO₄²⁻: Sulfato; HCO₃⁻: Bicarbonato, PO₄³⁻: Fosfatos; NO₃⁻: Nitratos. Fuente: Elaboración propia (2024)

Los resultados de la Tabla 16 eran esperables en cuanto al tiempo de ejecución del proyecto y lo reciente del establecimiento de los sistemas agroforestales, lo que implica la necesidad de poder continuar con evaluaciones futuras.

En cuanto a los parámetros químicos y físicos, el modelo agroecológico 2 presentó el nivel más elevado de CE ($p < 0,05$) respecto a los demás modelos (Tabla 17).

Tabla 17

Comparación de los parámetros químicos y físicos del suelo en los tres modelos agroforestales

	Unidad	CE – L – M	CE – A – M	CE – A – F	CV (%)	EE*
pH		5.01 ^a	5,09a	5,12a	12,37	0,20
CE	m.S/cm	0,16b	0,33a	0,18	59,63	0,04
Arena	%	40,90 ^a	36,50a	22,00a	77,85	8,16
Limo	%	45,70 ^a	47,20a	67,20a	39,22	6,62
Archilla	%	13,40 ^a	16,50a	10,20a	76,68	3,24
Materia orgánica	%	5,89 ^a	6,87a	8,22a	52,09	1,15
C. total	%	3,37 ^a	4,00a	4,77a	52,21	2,30
Sat. Humedad	%	51,50 ^a	53,10a	58,40a	13,41	2,30
Sat. Bases	%	32,10 ^a	74,44a	26,78a	104,49	14,68
Densidad A.	g/cc	1,09 ^a	1,05a	0,94a	15,36	0,05

Nota. * Medias en las filas acompañadas por letras minúsculas desiguales difieren estadísticamente para $p < 0,05$ según el test de Tukey. CE: Cedro, L: Limón, M: Maíz, A: Aguacate, F: Frijol. CE: conductividad Eléctrica, SB: Saturación con Bases. CE: Conductividad Eléctrica, SB: Saturación con Bases, Da: Densidad aparente, EE: Error Estándar; CV: Coeficiente de Variación. Fuente: Elaboración propia (2024)

La interacción finca en transición hacia la producción agroecológica x modelo, en las parcelas agroecológicas de acuerdo al análisis de varianza, presentó diferencia para Na, CIC, Ca, Mg, Fe, zn y N-NO₃ (Tabla 18). Esto puede explicarse que las características iniciales en cuanto a nutrición del suelo no fueron similares ocasionando variación entre los modelos agroecológicos establecidos. Para los niveles de Ca la finca 4 del modelo 1 y la finca 3 de modelo 3 presentaron las medias más elevadas. El N-NH₄ y el Mg estuvieron más elevados en la finca 1 del modelo 1 en comparación con los demás elementos. Sumado a ello, el N-NH₄ fue más elevado en la finca 1 y finca 5 de los modelos 1 y 3, respectivamente. La concentración de S de la finca 4 del modelo 3 presentó el valor más elevado ($p < 0,05$). Finalmente, la concentración de Mn fue mayor en la finca 2 del modelo 1 (Tabla 18).

Tabla 18

Comparación de elementos químicos del suelo en interacción finca en transición hacia la producción agroecológica x modelo agroforestal

Finca	CE – L – M					CE – A – M					CE – A – F					CV (%)	EE*
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
K meq/100g	1,01z	0,16b	0,05b	0,21b	0,31b	0,09b	0,22b	0,25b	0,33b	0,09b	0,18b	0,15b	0,20b	0,12b	0,55ab	48,97	0,01
Ca meq/100g	7,51bcd	1,18d	0,95d	1,68cd	3,31bcd	0,61d	18,82ab	9,98bc	18,53a	0,85d	1,11d	1,51d	2,31cd	0,64d	8,61bcd	45,01	0,01
Mg meq/100g	1,72b	0,48b	0,40b	0,72b	1,25b	0,23b	1,58b	4,28a	0,94a	0,42b	0,49b	0,35b	0,66b	0,27b	1,67b	45,18	0,15
Na meq/100g	0,11ab	0,08b	0,17ab	0,13ab	0,23ab	0,27a	0,20ab	0,21ab	0,11ab	0,13ab	0,05b	0,23ab	0,05b	0,21ab	0,06b	30,36	0,00
Al meq/100g	0,01a	1,95a	1,50a	1,75a	4,05a	3,20a	0,20a	0,21a	0,01a	1,81a	0,61a	2,75a	1,01a	2,35a	0,01a	83,21	1,00
CIC meq/100g	11,50b	15,50ab	10,0b	10,50b	26,50*26,00a	26,00a	13,00ab	11,50b	23,00ab	16,50ab	22,00ab	20,00ab	11,50b	25,50a	15,50ab	19,68	8,13
Cl meq/100g	0,76a	0,60a	0,60a	0,60a	0,70a	0,62a	0,72a	0,70a	0,76a	0,54a	0,70a	0,66a	0,57a	0,60a	0,78a	14,36	0,01
P ppm	4,50a	1,00a	1,00a	1,00a	4,00a	1,50a	43,00a	3,00a	25,00a	1,00a	1,50a	1,00a	1,00a	2,00a	5,50a	210,17	127,94
N-NH ₄ ppm	8,00a	2,00a	6,00a	7,00a	4,00a	3,00a	6,50a	6,00a	8,50a	8,50a	5,00a	7,00a	3,50a	6,50a	5,50a	46,05	5,04
N-NO ₃ ppm	30,00ab	5,00b	5,00b	12,50b	22,50ab	7,50b	80,00a	32,50ab	50,00ab	30,00ab	5,00b	12,50b	5,00b	12,50b	25,00ab	64,63	147,31
S ppm	7,50ab	2,50b	1,00b	1,00b	2,0b	2,00b	16,50a	2,00b	3,50b	1,50b	1,00b	2,00b	2,50b	2,00b	4,00b	79,29	5,14
Fe ppm	146,50b	107,00b	227,50ab	127,00b	239,00ab	160,00b	170,50b	127,00b	141,50b	140,00b	73,00b	391,50a	75,50b	100,00b	188,00b	26,25	1262,19
Mn ppm	96,50b	19,50bc	2,00c	34,00abc	6,50c	4,00c	77,50abc	110,00a	50,00abc	11,00c	10,00c	3,00c	13,00c	8,50c	105,50a	56,39	303,35
Cu ppm	0,15a	0,20a	,25a	0,15a	0,35a	0,40a	0,35a	0,30a	0,35a	0,40a	0,20a	0,35a	0,20a	0,35a	0,25a	26,71	0,00
Zn ppm	2,45ab	0,60b	3,75ab	2,05ab	2,35ab	2,35ab	3,80ab	0,85b	2,75ab	4,50a	1,95ab	3,15ab	0,65b	1,00b	1,65ab	38,43	0,53
B ppm	0,10a	0,14a	0,16a	0,09a	0,15a	0,17a	0,19a	0,18a	0,11a	0,06a	0,14a	0,14a	0,14a	0,12a	0,15a	23,90	0,001

Nota. Medias en las filas acompañadas por letras minúsculas desiguales difieren estadísticamente para $p < 0,05$ según el test de Tukey. Modelo 1: CE: Cedro, L: Limón, M: Maíz, Modelo 2: CE: Cedro, A: Aguacate, M: Maíz Modelo 3: CE: Cedro, A: Aguacate, F: Frijol. N-NH₄: Nitrógeno disponible en forma de amonio; N-NO₃: Nitrógeno disponible en forma de nitrato; Mg: Magnesio; P: Fósforo; S: Azufre; Ca: Calcio; K: Potasio; CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico; B: Boro; Zn: Zinc; Al: Aluminio; Na: Sodio; Fe: Hierro; Cu: Cobre; Mn: Manganeseo; Cl: Cloro. CV: Coeficiente de Variación; EE: Error Estándar. Fuente: Elaboración propia (2024)

Analizando las fincas correspondientes a cada modelo, se identifica que los niveles de Ca difieren en los modelos 1 y 3, el Mg en el modelo 1, Al en el modelo 2, cloruros en el modelo 3. Para NH₄ difiere el nivel en las fincas de los tres modelos, S en el modelo 3 y Mn en el modelo 1.

Los parámetros químicos, el pH, CE y saturación de bases presentaron diferencia de acuerdo al ANOVA realizado para la interacción finca x modelo agroecológico. Al interior de cada modelo, las fincas del modelo 1 presentan diferencia para pH, CE y saturación de bases en proporciones de más de 1, 5 y 15 veces, respectivamente (Tabla 19).

Tabla 19
Comparación de parámetros químicos y físicos del suelo en interacción finca en transición hacia la producción agroecológica x modelo agroforestal mediante ANOVA

	CE – L – M					CE – A – M					CE – A – F					CV %	EE
Finca	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
pH	5,95a	4,98ab	4,64ab	4,81ab	4,72ab	4,34b	5,45ab	5,49ab	5,93a	4,45ab	5,40ab	4,51ab	5,40ab	4,55ab	5,64ab	7,55	0,10
CE MS/cm	0,28a	0,06a	0,11a	0,11a	0,25a	0,19a	0,50a	0,37a	0,40a	0,22*	0,22a	0,28a	0,15a	0,06a	0,19*	52,59	0,01
Arena %	31,00a	47,00a	64,00a	57,50a	5,00a	4,50a	66,00a	60,50a	37,50a	14,00a	14,00a	20,50a	5,00a	37,50a	3,00a	53,93	225,76
Limo %	58,00ab	32,50ab	28,00ab	36,50ab	73,50ab	59,00ab	23,00b	32,50ab	49,50ab	72,00ab	74,50ab	86,50a	58,00ab	75,00ab	42,00ab	27,79	155,54
Arcilla %	11,00ab	20,50ab	8,00b	6,50b	21,50*	37,00a	11,00ab	7,50b	13,00ab	14,00ab	1,00b	8,50b	5,00b	22,50ab	14,00ab	52,87	35,50
MO %	6,33bc	3,77bc	4,10bc	4,82bc	10,44ab	4,95ab	6,41bc	5,51bc	14,10a	3,41c	14,13a	7,88abc	4,28bc	9,12abc	5,74bc	24,51	2,08
CO %	3,46bc	2,19bc	2,37bc	2,80bc	6,06ab	2,96bc	3,72bc	3,20bc	8,18a	1,98c	8,19a	4,57abc	2,48bc	5,29abc	3,33bc	25,09	0,73
Humedad %	51,00abcd	51,50abcd	39,50d	53,50abcd	62,00ab	57,00abc	45,00cd	51,50abcd	52,50abcd	59,50abc	67,99a	60,50abc	58,50abc	59,00abc	47,00bcd	7,51	11,79
SB %	87,83a	12,91a	13,28a	28,01a	18,48a	3,62a	103,76a	143,71a	86,88a	34,27*	8,22a	10,74a	41,73a	4,07a	69,18a	80,08	895,72
DA g/cm3	1,10bcde	1,12bcde	1,37a	1,08bcde	0,80f	0,90ef	1,18ab	1,17abc	1,08abcd	0,97bcdef	0,74f	0,93def	0,94cdef	0,94bcdef	1,16abcd	6,14	0,003

Nota. Medias en las filas acompañadas por letras minúsculas desiguales difieren estadísticamente para p<0,05 según el test de Tukey. Modelo 1: CE: Cedro, L: Limón, M: Maíz, Modelo 2: CE: Cedro, A: Aguacate, M: Maíz Modelo 3: CE: Cedro, A: Aguacate, F: Frijol. SB: Saturación con Bases, Da: Densidad aparente, CE: Conductividad Eléctrica, EE: Error Estándar CV: Coeficiente de Variación. Fuente: Elaboración propia (2024)

Se evidencia efecto del cultivo sobre las propiedades químicas del suelo. En las fincas de los modelos 2 y 3 se evidencia incremento en el nivel del pH (Tabla 20). Adicional a ello, se observa variación en su textura y taxonomía. Los macro y micro nutrientes de todas las fincas evaluadas del municipio presentan alta variabilidad espacial de los valores medios y coeficientes de variación concordando con los reportado por el IGAC (2004).

Tabla 20
Porcentaje de las parcelas con niveles de nutrientes clasificados como bajos y deficientes

Porcentaje de parcela con niveles	Deficiente	Bajo
K	40,00	46,7
Ca	43,3	26,7
Mg	60,00	30,00
Na	73,3	26,70
Al	0,0	23,30
CIC	90,00	3,30

Cl	66,70	30,00
P	86,70	13,30
N-NH+4	93,30	6,70
N-No-3	23,30	50,00
S	53,30	10,00
Fe	40,00	60,00
Mn	23,30	20,00
Cu	100,00	0,00

Fuente: Elaboración propia (2024)

La Tabla 21 muestra las principales propiedades químicas donde la CE es adecuada para todas las fincas del estudio, mientras que la CIC solo en un pequeño porcentaje es baja, pero el pH es muy ácido; en cuanto a propiedades físicas como el porcentaje saturación de humedad no hay fincas con valores inadecuados, lo anterior es propio de los suelos andinos de la cordillera Oriental (Jaramillo 2002; IGAC, 2004; IGAC, 2014).

Tabla 21
Niveles de Conductividad Eléctrica, pH, saturación de humedad, carbono orgánico, Capacidad de Intercambio Catiónico clasificados como bajos y deficiente.

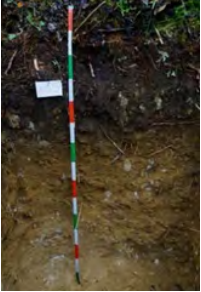
Porcentaje de la parcela con niveles	Deficiente	Bajo
pH	26,70	33,30
CE m.S/cm	96,70	3,30
CO %	0,00	63,33
Sat. Humedad %	0,00	0,00
CIC meq/100g	0,00	16,66

Fuente: Elaboración propia (2024)

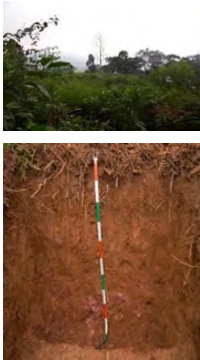
3.7.2 Clasificación taxonómica del suelo

De las áreas muestreadas y estudiadas para realizar la caracterización taxonómica del suelo, dos fueron clasificados como *Typic dystrodepts* fino, uno como *Typic dystrostepts* franco fino, uno como *Typic dystrodepts* muy fino, uno como *Typic hapludands* medial y uno como *Typic humudepts* esqueletal (Tabla 22).

Tabla 22
Caracterización taxonómica de suelos

Productor	Finca	Taxonomía	Características	Figuras
Gerardo Esteban Leal	Olivo	Typic dystrudepts muy fino	La finca se encuentra en un clima medio y muy húmedo, dentro de un paisaje de lomerío, caracterizado por pendientes moderadas a leves. Suelo profundo, de textura fina y fertilidad natural baja.	 
Hermes Contreras	La Esplayada	Typic hapludands medial	La finca se encuentra en un clima medio muy húmedo, dentro de un relieve montañoso de filas y vigas desarrollado sobre gneis, caracterizado por fuertes pendientes, cobertura vegetal de bosque intervenido y una capa de hojarasca (litter). Suelo derivado de cenizas volcánicas, profundos limitados por fragmentos de roca, textura fina y fertilidad natural moderada.	 

Javier Antonio Ardila	Vega Larga	Typic humudepts esqueletal	La finca se encuentra en un clima medio y muy húmedo, dentro de un relieve de piedemonte (glacis coluvial), caracterizado por presencia de fragmentos de roca en superficie y dentro del perfil de suelo. Suelo moderadamente profundo limitado por fragmentos de roca, texturas finas y fertilidad natural moderada.	 
Jean Alexander Rojas Páez	El Llano	Typic dystrudepts franco fino	La finca se encuentra ubicada en clima medio y muy húmedo, dentro de un relieve montañoso de filas y vigas desarrolladas sobre gneis, caracterizado por fuertes pendientes, cobertura vegetal de bosque intervenido. Suelo profundo limitado por fragmentos de roca, texturas finas y fertilidad natural baja.	 

Jose Adalberto Rondón García	La Providencia	Typic dystrudepts fino	La finca se encuentra en un clima medio y muy húmedo, dentro de un relieve montañoso de filas y vigas desarrolladas sobre gneis, caracterizado por fuerte pendiente y fenómeno de remoción en masa (terracetas) y erosión laminar ligera. Suelo moderadamente profundo limitado por fragmentos de roca, texturas finas y fertilidad natural baja.	
Luis Miguel Jaimes Rubio	Las Brisas	Typic dystrudepts fino	La finca se encuentra en un clima medio y muy húmedo, dentro de un paisaje de lomerío, caracterizado por pendientes moderadas relictos de cobertura natural. Suelo es profundo, limitado por fragmentos de roca, de texturas finas y fertilidad natural baja.	

Fuente: Elaboración propia (2024)

3.8 Caracterización de la biología del suelo

Modelo Agroecológico Cedro – Limón – Maíz

En la Tabla 23 se presenta la biología del suelo para el Modelo agroforestal Cedro – Limón – Maíz.

Tabla 23

Biología edáfica para el modelo agroforestal Cedro- Limón-Maíz

Finca	Macrofauna		Mesofauna	Microfauna
	Riqueza	Abundancia		
Sabaneta	Se recolectaron un total de 101 individuos correspondientes a la macrofauna, distribuidos en 4 órdenes, 3 familias y 5 morfoespecies. El orden más abundante fue <i>dictyoptera</i> con el 58% de la muestra, esto contrasta con el 38% de representatividad de este orden en lo recolectado antes de implementar el modelo, así mismo se observa una reducción del 34% en la presencia de macrofauna.	Antes de implementar el modelo, la distribución de las abundancias de los individuos colectados en la finca de Alba Ardila, la especie dominante fue <i>Atta</i> sp1. Luego de implementar el modelo la especie dominante fue <i>tetimaternes</i> sp.	Se hallaron que las morfoespecies dominantes fueron ácaros y colémbolos, seguida por hormigas, antes y después de establecido el modelo.	Este suelo presentó dos familias diferentes de nematodos de hábito saprófago y protozoarios de la clase <i>mastigophoras</i> , antes y después de establecido el modelo.
El Hoyo	Se recolectaron un total de 77 individuos correspondientes a la macrofauna, distribuidos en 5 órdenes, 4 familias y 5 morfoespecies. El orden más abundante fue <i>coleoptera</i> con el 46% de la muestra, esto contrasta con el 4.9% de representatividad de este orden en lo recolectado en antes de implementar el modelo, así mismo se observa una reducción del 74% en la presencia de macrofauna.	Con base en la distribución de las abundancias de los individuos colectados en la finca de Ana de Jesús Laguado antes de implementar el modelo, los organismos que destacan como especies dominantes son: <i>Pudoromorpha</i> sp2; <i>lombricus</i> sp2; <i>lombricus</i> sp3; <i>megalomymex</i> sp1 y <i>lombricus</i> sp4. Luego de establecido la especie dominante fue <i>formicinae</i> sp1.	Se encontró que las morfoespecies dominantes fueron colémbolos antes y después de implementado el modelo y los ácaros y hormigas se encontraron antes de implementar el modelo.	La mayor parte de organismos identificados antes y después de implementado el modelo, correspondió a protozoario, seguido de rotíferos y nematodos.
El Llano	Se recolectaron un total de 62 individuos correspondientes a la macrofauna, distribuidos en 2 órdenes, 2 familias y 3 morfoespecies. El orden más abundante fue <i>hymenoptera</i> con el 38% de la muestra; cabe resaltar que este orden no se registró antes de implementar el modelo, así mismo se observa un aumento del 51% en la presencia de macrofauna.	Con base en la distribución de las abundancias de los individuos colectados en la finca de Jean Alexander Rojas antes de implementar el modelo, la especie dominante fue <i>Chinavia</i> sp1. Luego de establecido la especie dominante fue <i>tetimaternes</i> sp1.	Se encontró que las morfoespecies dominantes fue <i>collembola</i> , seguido de <i>annelida</i> , antes y después de implementado el modelo. <i>miriapoda</i> y <i>acari</i> , se presentaron antes de establecer el modelo.	Se identificaron organismos protozoarios, una cantidad baja de poblaciones de nematodos, sin embargo, se encontró una diversidad importante ya que se pudieron identificar tres familias diferentes en la muestra.
San Antonio	Se recolectaron un total de 10 individuos correspondientes a la macrofauna, distribuidos en 4 órdenes, 3 familias y 4 morfoespecies. El orden más abundante fue <i>haplotaxida</i> con el 50% de la muestra, esto contrasta con el 5% de representatividad de este orden en lo recolectado antes de implementar el modelo, así mismo se observa una reducción del 95% en la presencia de macrofauna.	Con base en la distribución de las abundancias de los individuos colectados en la finca de Andrés Uribe antes de implementar el modelo, la especie dominante fue <i>uroleucon</i> sp1. Luego de establecido la especie dominante fue <i>Lumbricus</i> sp.	Se encontró que la morfoespecie dominante fueron colémbolos antes y después de implementado el modelo seguido por <i>crustacea</i> .	La muestra presentó la más grande variabilidad de microfauna asociada al suelo. Los nemátodos saprófitos fueron los más abundantes seguidos de protozoos de la clase <i>sarcodina</i> antes y después de implementado el modelo.
La Providencia	Se recolectaron un total de 36 individuos correspondientes a la macrofauna distribuidos en 4 órdenes, 4 familias y 7 morfoespecies. El orden más abundante fue <i>dictyoptera</i> con el 38% de la muestra, esto contrasta con el 8.4% de representatividad de este orden en lo recolectado antes de implementar el modelo, así mismo se observa una reducción del 89% en la presencia de macrofauna.	Con base en la distribución de las abundancias de los individuos colectados en la finca de José Rondón antes de implementar el modelo, las especies dominantes fueron: <i>lombricus</i> sp1, <i>ectatoma</i> sp1 y <i>Atta</i> sp1. Luego de establecido la especie dominante fue <i>tetimaternes</i> sp1.	Se encontró que las morfoespecies dominantes antes y después de implementado el modelo fueron: <i>collembola</i> y <i>araenae</i> . También se presentaron <i>acari</i> , <i>formicidae</i> y <i>thysanoptera</i> antes de implementar el modelo e <i>Isoptera</i> luego de establecido.	La abundancia de microfauna en esta finca se reflejó en el número de individuos que presentó la clase <i>anguinidae</i> de nemátodos, aunque no hubo diversidad ni poblaciones diferentes a esta.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Modelo agroecológico Cedro – Aguacate – Maíz

En la Tabla 24 se presenta la biología del suelo para el Modelo agroforestal Cedro – Aguacate – Maíz.

Tabla 24

Biología edáfica para el modelo agroforestal Cedro- Aguacate-Maíz

Finca	Macrofauna		Mesofauna	Microfauna
	Riqueza	Abundancia		
Villa Teresa	Se recolectaron un total de 84 individuos correspondientes a la macrofauna, distribuidos en 7 órdenes, 14 familias y 17 morfoespecies. El orden más abundante fue <i>coleoptera</i> con el 37% de la muestra, esto contrasta con el 13% de representatividad de este orden en lo recolectado antes de implementar el modelo, así mismo se observa un aumento del 72% en la presencia de macrofauna.	Con base en la distribución de las abundancias de los individuos colectados en la finca de Francisco Mogollón antes de implementar el modelo, la especie dominante fue <i>chrysomelidae sp1</i> . Luego de establecido la especie dominante fue <i>diabrotica sp1</i> .	Se encontró que las morfoespecies dominantes fueron ácaros y colémbolos, seguida por <i>formicidae</i> antes y después de implementado el modelo.	Se encontraron antes y después de implementado el modelo, pocos individuos de la clase <i>seisonidea</i> de rotíferos en las muestras de suelo de esta finca, esta clase tiene características acuáticas o semiacuáticas, las cuales se encuentran regularmente en musgos. También Se presentó una considerable cantidad de protozoos y en menor proporción, nematodos.
Nuevo Reino	Se recolectaron un total de 70 individuos correspondientes a la macrofauna, distribuidos en 4 órdenes, 5 familias y 6 morfoespecies. El orden más abundante fue <i>hymenoptera</i> con el 80% de la muestra, esto contrasta con el 26% de representatividad de este orden en lo recolectado antes de implementar el modelo; así mismo se observa un aumento del 72% en la presencia de macrofauna.	Con base en la distribución de las abundancias de los individuos colectados antes de establecido el modelo en la finca de Obdulio Tuta, las especies dominantes fueron: <i>porcellio sp1</i> y <i>megalomymex sp1</i> . Luego de establecido se presentó la especie <i>pseudomymex sp1</i> .	Se encontró que las morfoespecies dominantes antes y después de establecido el modelo, fueron ácaros y colémbolos.	En esta finca se halló una gran diversidad de nemátodos saprofitos y hubo una moderada presencia de protozoarios.
La Florida	Se recolectaron un total de 19 individuos correspondientes a la macrofauna, distribuidos en 7 órdenes, 9 familias y 10 morfoespecies. El orden más abundante fue <i>hemiptera</i> con el 47% de la muestra; esto contrasta con el 10,7% de representatividad de este orden en lo recolectado antes de implementar el modelo, así mismo se observa una reducción del 95% en la presencia de macrofauna.	La distribución de las abundancias de los individuos colectados permite identificar las especies antes de implementar el modelo de la finca de Agustín Laguado, donde <i>pheidole sp3</i> , <i>rhipicephalus sp1</i> destacan como especies dominantes. Luego de establecido, la especie dominante fue <i>membracidae sp</i> .	Se encontró que la morfoespecie dominante fue la de colémbolos, antes y después de establecido el modelo. También se presentó la morfoespecie <i>acari</i> e <i>himenoptera</i> antes de establecido el modelo y luego de implementado se presentó <i>formicidae</i> .	La mayor parte de organismos identificados antes y después de establecido el modelo correspondieron a nemátodos saprofitos.
La Despena	Se recolectaron un total de 143 especímenes de macrofauna distribuidos en 7 órdenes, 10 familias y 16 especies, el orden que presentó la mayor representatividad fue <i>dictyoptera</i> con el 37% de la muestra, cabe resaltar que este orden no se recolectó antes de implementar el modelo, así mismo se observa un aumento del 5.5% en la presencia de macrofauna.	Con base en la distribución de las abundancias de los individuos colectados, antes de implementar el modelo en la finca de Nelsy Gelves, las especies dominantes fueron: <i>megalomymex sp2</i> y <i>megalomymex sp1</i> . Luego de establecido la especie dominante fue <i>ruptitermes sp</i> .	Se encontró que la morfoespecie dominante antes y después de establecido el modelo fue colémbolos. También se presentó la morfoespecie <i>acari</i> antes de establecido el modelo.	La mayor cantidad de individuos fueron identificados antes y después de establecido el modelo como protozoos de la clase sarcodina, además se hallaron nematodos de hábito saprófago.
Las Brisas	Se recolectaron un total de 69 individuos correspondientes a la macrofauna, distribuidos en 5 órdenes, 5 familias y 5 morfoespecies. El orden más abundante fue <i>dictyoptera</i> con el 60% de la muestra; cabe resaltar que este orden no se antes de implementar el modelo, así mismo se observa una reducción del 14% en la presencia de macrofauna.	Con base en la distribución de las abundancias de los individuos colectados antes de implementar el modelo en la finca de José Rondón, las especies dominantes fueron: <i>Lombricus sp1</i> , <i>ectatoma sp1</i> y <i>atta sp1</i> . Luego de establecido la especie dominante fue <i>tetimaternes sp1</i> .	Se encontró que la morfoespecie dominante antes y después de establecido el modelo fue <i>collembola</i> . También se presentó la morfoespecie <i>acari</i> antes de establecido el modelo y luego de implementado se presentó la morfoespecie <i>annelida</i> .	La finca se confirmó luego de establecido el modelo, la presencia de nematodos de hábitos fitoparásitos.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Modelo agroecológico Cedro – Aguacate – Frijol

En la Tabla 25 se presenta la biología del suelo para el Modelo agroforestal Cedro – Aguacate – Frijol.

Tabla 25

Biología edáfica para el modelo agroforestal Cedro- Aguacate-Frijol

Finca	Macrofauna		Mesofauna	Microfauna
	Riqueza	Abundancia		
Villa Sara	Se recolectaron un total de 32 individuos correspondientes a la macrofauna, distribuidos en 7 órdenes, 7 familias y 11 morfoespecies. El orden más abundante fue <i>isopoda</i> con el 41% de la muestra, cabe resaltar que antes de implementar el modelo no se recolectó este orden, así mismo se observa una reducción del 66% en la presencia de macrofauna.	Con base en la distribución de las abundancias de los individuos colectados antes de implementar el modelo en la finca de Hermes Contreras, la especie dominante fue <i>areina</i> sp1. Luego de establecido la especie dominante fue <i>porcellio</i> sp.	Se encontró dominancia de la morfoespecie colémbolos, antes de implementar el modelo y luego de establecido se presentaron las morfoespecies <i>ispoda</i> e <i>hymenoptera</i> .	Hubo una importante variabilidad en las clases de nematodos encontrados antes y después de establecido el modelo en la muestra, principalmente de hábitos saprófagos y predadores
Vega Larga	Se recolectaron un total de 23 individuos correspondientes a la macrofauna, distribuidos en 3 órdenes, 5 familias y 5 morfoespecies. El orden más abundante fue <i>coleoptera</i> con el 82% de la muestra, cabe resaltar que este orden no se recolectó antes de implementar el modelo; así mismo se observa una reducción del 43% en la presencia de macrofauna.	Con base en la distribución de las abundancias de los individuos colectados antes de establecido el modelo en la finca de Javier Ardila, la especie dominante fue <i>lombricus</i> sp2. Luego de establecido el modelo se encontró la morfoespecie <i>diabrotica</i> sp1.	Se encontró que las morfoespecies dominantes fueron ácaros y <i>collembolos</i> antes de establecido el modelo. También se presentó la morfoespecie <i>annelida</i> .	La abundancia de microfauna en esta finca se vio reflejada en el número de individuos que presentó la clase <i>anguinidae</i> de nematodos antes y después de establecido el modelo.
La Cruz	Se recolectaron un total de 43 individuos correspondientes a la macrofauna, distribuidos en 6 órdenes, 6 familias y 10 morfoespecies. El orden más abundante fue <i>hymenoptera</i> con el 36% de la muestra, esto contrasta con el 82% de representatividad de este orden en lo recolectado antes de implementar el modelo, así mismo se observa una reducción del 60% en la presencia de macrofauna.	Con base en la distribución de las abundancias de los individuos colectados antes de establecido el modelo en la finca de Jimmy Corredor, la especie dominante fue <i>solenopsis</i> sp1. Luego de establecido se presentó la especie <i>Aphis</i> sp.	Se encontró que la morfoespecie dominante fueron los ácaros antes y después de establecido el modelo.	La población de microfauna en la muestra es baja, se hallaron protozoos y nemátodos; ambos en pocas cantidades.
El Olivo	Se recolectaron un total de 58 individuos correspondientes a la macrofauna, distribuidos en 6 órdenes, 8 familias y 8 morfoespecies. El orden más abundante fue <i>haplotaxida</i> con el 68% de la muestra, esto contrasta con el 18% de representatividad de este orden en lo recolectado antes de implementar el modelo, así mismo se observa un aumento del 24% en la presencia de macrofauna.	Con base en la distribución de las abundancias de los individuos colectados en la finca de Gerardo Esteban Leal, antes de implementar el modelo, la especie dominante fue <i>cephalotes</i> sp1. Luego de establecido la especie dominante fue <i>lumbricus</i> sp.	Se encontró que las morfoespecies dominantes fueron ácaros y <i>thrysnoptera</i> ; antes y después de establecido el modelo, la morfoespecie <i>formicidae</i> aumentó su presencia luego de establecido el modelo.	En la muestra tomada al inicio y al final del proyecto, se logró evidenciar la presencia de protozoa y nematodos de hábito saprofíto.
La Palma	Se recolectaron un total de 118 especímenes de macrofauna distribuidos en 7 órdenes, 11 familias y 15 especies; el orden que presentó la mayor representatividad fue <i>hemiptera</i> con el 33%.	Con base en la distribución de las abundancias de los individuos recolectados en la finca de Diego Marciales, la especie dominante fue <i>aphis</i> sp2.	Se encontró que las morfoespecies dominantes fueron <i>acari</i> y <i>collembola</i> .	La muestra presentó la más grande cantidad de individuos de un solo <i>phylum</i> (Nemátodos) aunque no fue muy diversa.

Fuente: Elaboración propia (2024)

En las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas se logró recolectar 944 individuos correspondientes a la macrofauna asociada con los cultivos implementados, estos individuos se distribuyen taxonómicamente en 6 clases, 14 órdenes, 40 familias y 73 morfoespecies, la familia más abundante fue *Hymenoptera* con el 30,6% de los ejemplares recolectados, seguido de *Dictyoptera* con el 23.2% y *Hemiptera* con el 15.8%, así mismo la familia más rica fue *Hymenoptera* con 20 morfoespecies, seguida de *Hemiptera* con 16 y *Coleoptera* con 12 morfoespecies.

Por otra parte, se evidenció reducción de individuos reportados en el presente monitoreo con respecto al año 2018, esto se evidencia en las fincas de Tulio Andrés Uribe y Jesús Agustín Laguado Carrillo, los cuales presentaron una reducción de su macrofauna del 95%, seguido de las fincas de José Adalberto Rondón García con el 89% y Ana de Jesús Laguado con el 75%, a pesar de esto propiedades como la de Francisco Mogollón y Jean Alexander Rojas Páez presentaron un aumento del 72% en la macrofauna en su áreas, seguido de la de Obdulio Tuta el cual presentó un aumento del 51%.

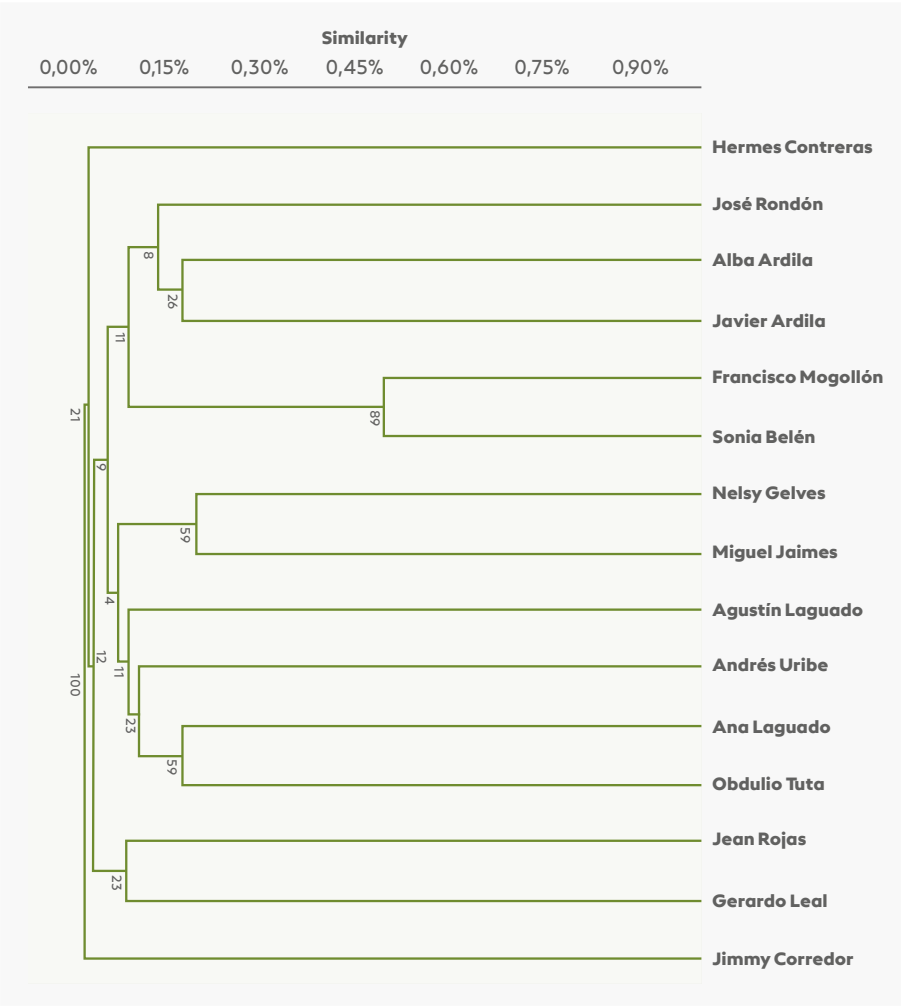
La notoria reducción de la macrofauna en la mayoría de las fincas se atribuye a la sequía que presenta el brazo nororitenal andino y que se extienda a lo largo del primer semestre del año, aumentando las corrientes cálidas a causa del calentamiento de la superficie del océano Pacífico, afectando notoriamente las dinámicas de los ecosistemas del norte de Suramérica (IDEAM, 2019).

Por lo tanto, la dinámica de especies se ve fuertemente disminuido por la alta compactación del suelo debido a la baja humedad, logrando solo registrar dominio particular de grupos taxonómicos como hormigas (*Hymenoptera: Formicidae*) y termitas (*Dictyoptera: Termitidae*), que por su papel funcional ecológico permite mantener aireación y descomposición de diverso material orgánico presente en las fincas estudiadas.

Finalmente, vale la pena destacar que la reducción en la diversidad no afectó la representación de las principales morfoespecies que, por su dominancia y su alto valor natural en relación con las cadenas tróficas, se mantuvo entre el 2018 y 2019, siendo ampliamente demostrado que, en la implementación

de cultivos en matrices naturales, hay tendencia a la homogeneidad ecosistémica.

Figura 14
Clúster por presencia/ausencia de biología del suelo del municipio de Arboledas



Fuente: Elaboración propia (2024)

3.8.1 Macrofauna

La altitud media en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica evaluada fue de 1.303,2 msnm, con un rango entre 941 y 1.656 msnm ubicándose estas fincas en la zona de vida de Holdridge de bosque premontano, de acuerdo al Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT).

Composición macrofauna. Se identificaron 156 especies que pertenecen a 7 clases con predominancia de *Insecta* (Tabla 26). En relación a la riqueza, tanto el número de clases y especies es bajo. La abundancia arrojó una media de 143,13 individuos por finca para un total de 2.147 individuos con una desviación estándar elevada (132,44). Se resalta, que se encontró una finca con 433 individuos (Finca #8) y otra con únicamente 17 individuos (Finca #14).

Tabla 26

Riqueza macrofauna en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas

Lista de especies	Orden	Clase
156	23	7
<i>Acari sp1</i>	<i>Trombidiformes</i>	<i>Acari</i>
<i>Dictynidae sp1</i>	<i>Aranea</i>	<i>Arachnida</i>
<i>Dictynidae sp2</i>	<i>Aranea</i>	<i>Arachnida</i>
<i>Pholcidae sp1</i>	<i>Aranea</i>	<i>Arachnida</i>
<i>Lyniphidae sp1</i>	<i>Aranea</i>	<i>Arachnida</i>
<i>Ixdidae sp2</i>	<i>ixodida</i>	<i>Arachnida</i>
<i>Rhipicephalus sp1</i>	<i>Ixodida</i>	<i>Arachnida</i>
<i>Opiliones sp1</i>	<i>Opiliones</i>	<i>Arachnida</i>
<i>Opiliones sp2</i>	<i>Opiliones</i>	<i>Arachnida</i>
<i>Opiliones sp3</i>	<i>Opiliones</i>	<i>Arachnida</i>
<i>Iustrochemes sp1</i>	<i>Pseudoscorpionida</i>	<i>Arachnida</i>
<i>Lombricus sp1</i>	<i>Haplotaxida</i>	<i>Clitellata</i>
<i>Lombricus sp2</i>	<i>Haplotaxida</i>	<i>Clitellata</i>
<i>Lombricus sp3</i>	<i>Haplotaxida</i>	<i>Clitellata</i>
<i>Lombricus sp4</i>	<i>Haplotaxida</i>	<i>Clitellata</i>

<i>Hemilepistus sp1</i>	<i>Isopoda</i>	<i>Crustacea</i>
<i>Hemilepistus sp2</i>	<i>Isopoda</i>	<i>Crustacea</i>
<i>Porcellio sp1</i>	<i>Isopoda</i>	<i>Crustacea</i>
<i>Porcellio sp2</i>	<i>Isopoda</i>	<i>Crustacea</i>
<i>Porcellionidae sp1</i>	<i>Isopoda</i>	<i>Crustacea</i>
<i>Porcellionidae sp2</i>	<i>Isopoda</i>	<i>Crustacea</i>
<i>Porcellionidae sp3</i>	<i>Isopoda</i>	<i>Crustacea</i>
<i>Julidae sp1</i>	<i>Julida</i>	<i>Diplopoda</i>
<i>Polydesmus sp2</i>	<i>Polydesmida</i>	<i>Diplopoda</i>
<i>Acrididae sp2</i>	<i>Blattodea</i>	<i>Insecta</i>
<i>Blatella sp1</i>	<i>Blattodea</i>	<i>Insecta</i>
<i>Blatella sp2</i>	<i>Blattodea</i>	<i>Insecta</i>
<i>Blatella sp3</i>	<i>Blattodea</i>	<i>Insecta</i>
<i>Blatta sp1</i>	<i>Blattodea</i>	<i>Insecta</i>
<i>Blatta sp2</i>	<i>Blattodea</i>	<i>Insecta</i>
<i>Ectobius sp1</i>	<i>Blattodea</i>	<i>Insecta</i>
<i>Loboptera sp1</i>	<i>Blattodea</i>	<i>Insecta</i>
<i>Loboptera sp2</i>	<i>Blattodea</i>	<i>Insecta</i>
<i>Polyphagidae sp1</i>	<i>Blattodea</i>	<i>Insecta</i>
<i>Anobiidae sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Bolitogyrus sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Borogonalia sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Borogonalia sp2</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Brachymyrmex sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Canthridae sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Carabidae sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Carabidae sp2</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Cephalote sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Ceraspis sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Ceratocanthidae sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Chrysomelida sp3</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Chrysomelidae sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Chrysomelidae sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Chrysomelidae sp2</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>

<i>Chrysomelidae sp2</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Coccinelidae sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Coccinelidae sp2</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Curculionidae sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Cyclocephala sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Diabrotica sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Diabrotica sp2</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Diplostethus sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Elateridae sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Elateridae sp3</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Lycidae sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Onthophagus sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Oreina sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Ortherus sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Paederus sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Phyllophaga sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Pyractonema sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Staphylinidae sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Staphylinidae sp2</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Staphylinidae sp3</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Tenebrionidae sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Euborellia sp1</i>	<i>Dermaptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Forficula sp1</i>	<i>Dermaptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Forficulidae sp1</i>	<i>Dermaptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Labia sp1</i>	<i>Dermaptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Mantidae sp1</i>	<i>Dyctioptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Athocoridae sp1</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Berytidae sp1</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Chinavia sp1</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Chinavia sp2</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Cicadellinae sp1</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Cyphonia sp1</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Cyphonia sp2</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Euchistus sp1</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>

<i>Lygaeidae sp1</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Lygaeidae sp2</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Membracidae sp1</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Miridae sp1</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Miridae sp2</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Pachitea sp1</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Pachylis sp1</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Pentatoma sp1</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Pentatomidae sp1</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Pentatomidae sp3</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Pentatomidae sp6</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Phyrrocoridae sp1</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Prosapia sp1</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Reduviidae sp1</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Triquetra sp1</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Uroleucon sp1</i>	<i>Hemiptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Chlorogonalia sp1</i>	<i>Heteroptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Cicadellini sp1</i>	<i>Heteroptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Lygus sp1</i>	<i>Heteroptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Macugonalia sp1</i>	<i>Heteroptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Monalonion sp1</i>	<i>Heteroptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Saica sp1</i>	<i>Heteroptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Atta sp1</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Braconidae sp1</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Componotus sp1</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Ectatoma sp1</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Formicidae sp1</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Formicidae sp2</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Formicidae sp3</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Formicinae sp1</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Formicinae sp2</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Ichneumonidae sp1</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Leucospida sp1</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Megalomymex sp1</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>

<i>Megalomymex sp2</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Pachycondyla sp1</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Pheidole sp1</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Pheidole sp2</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Pheidole sp3</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Ponerinae sp1</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Pseudomyrmex sp</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Pseudomyrmex sp1</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Pseudomyrmex sp2</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Solenopsis sp1</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Solenopsis sp2</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Wasmannia sp1</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Termitidae sp1</i>	<i>Isoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Termitidae sp2</i>	<i>Isoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Mantidae sp1</i>	<i>Mantodea</i>	<i>Insecta</i>
<i>Mantidae sp3</i>	<i>Mantodea</i>	<i>Insecta</i>
<i>Chrysopidae sp1</i>	<i>Neuroptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Hemerobius sp3</i>	<i>Neuroptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Acrididae sp1</i>	<i>Orthoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Acrididae sp3</i>	<i>Orthoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Dicytomidae sp1</i>	<i>Orthoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Dicytomidae sp2</i>	<i>Orthoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Docidocercus sp1</i>	<i>Orthoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Gryllus sp1</i>	<i>Orthoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Gryllus sp2</i>	<i>Orthoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Gryllus sp3</i>	<i>Orthoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Tettigoniidae sp4</i>	<i>Orthoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Hypogastruridae sp1</i>	<i>pudoromorpha</i>	<i>Insecta</i>
<i>Neanuridae sp1</i>	<i>pudoromorpha</i>	<i>Insecta</i>
<i>Neanuridae sp2</i>	<i>Pudoromorpha</i>	<i>Insecta</i>
<i>Neanuridae sp3</i>	<i>Pudoromorpha</i>	<i>Insecta</i>
<i>pudoromorpha sp2</i>	<i>Pudoromorpha</i>	<i>Insecta</i>
<i>Schaefferia sp1</i>	<i>Pudoromorpha</i>	<i>Insecta</i>
<i>Schaefferia sp2</i>	<i>Pudoromorpha</i>	<i>Insecta</i>

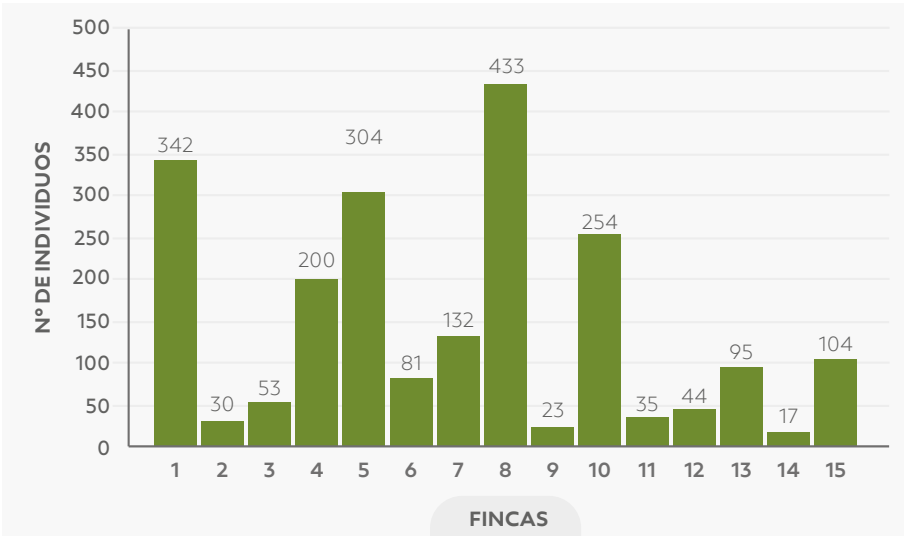
<i>Frankinela sp1</i>	<i>Thysanoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Pycnoscelus sp1</i>	<i>Thysanoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Scutigerella sp2</i>	<i>Symphyla</i>	<i>Miriapoda</i>
<i>Scutigerella sp1</i>	<i>Symphyla</i>	<i>Miriapoda</i>
<i>Scutigerellidae sp1</i>	<i>Symphyla</i>	<i>Miriapoda</i>

Fuente: Elaboración propia (2024)

Además, *Selenopsis sp1* fue la especie de más abundancia con el 5,45% de los individuos seguida de *Megalomymex sp1* con el 5,17%. Por su parte, *Lumbricus sp. 1* se encontró en 10 de las 15 fincas estudiadas, mientras que *Megalomymex sp1*, *Selenopsis sp1*, *Formicidae sp1*, *Chrysomelidae sp1*, *Prosapia sp1*, *Miridae sp1*, *Solenopsis sp1* se identificaron en 4 fincas. Las especies restantes se presentaron un rango entre 9 y 5 fincas, como puede evidenciarse en la Figura 15.

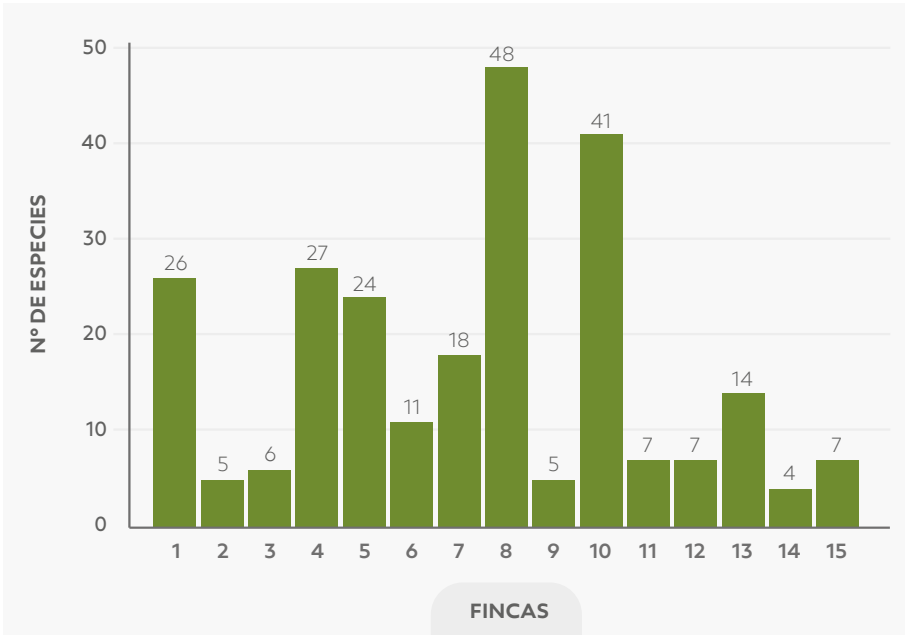
Figura 15

Abundancia en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.



Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

Figura 16
Riqueza específica en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas, Norte de Santander.



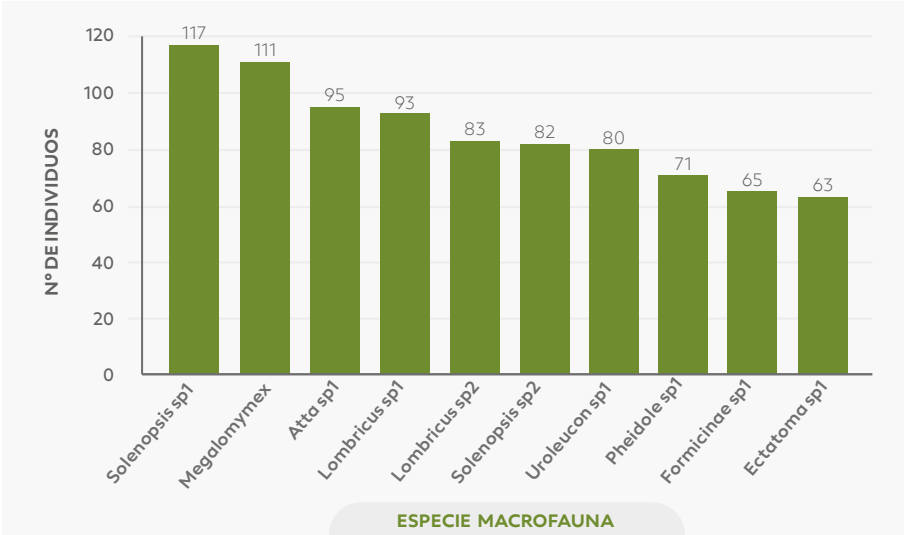
Nota. Leyenda: 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

Riqueza y diversidad

La riqueza específica global (S) fue de 156 especies. Se presentó un valor medio de 16,67 especies con 13,85 de desviación estándar. Se reportaron fincas con 48 especies como valor máximo y otras con 4 especies como valor mínimo.

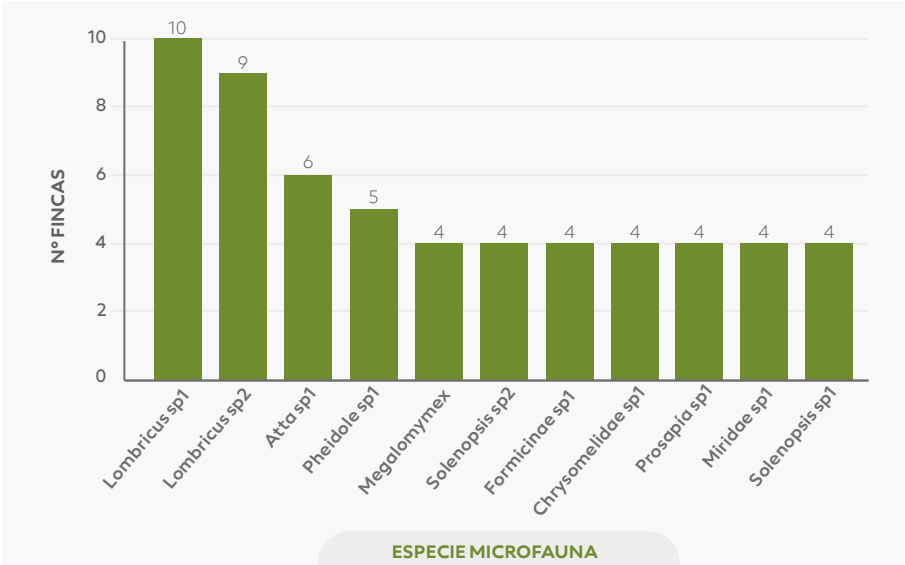
Seguidamente, al comparar la Figura 17 y la Figura 18 se presentan fincas con abundancia de individuos y riqueza de especies altas. En contraste, existen fincas con menor riqueza y por ende menor dominancia, mayor equidad y diversidad.

Figura 17
Especies de macrofauna más abundantes en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas, Norte de Santander.



Fuente: Elaboración propia (2024)

Figura 18
Especies más abundantes en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.



Fuente: Elaboración propia (2024)

A nivel municipal, el índice de diversidad de Margalef fue de 20,334, el de equidad de Shannon – Wiener fue de 4,29 y el de dominancia de Simpson de 0,002, indicando esto dominancia baja y diversidad alta en lo que se refiere a las especies de macrofauna identificadas. Lo anterior, concuerda con lo expresado por Medrano (2017) para el índice de Shannon – Wiener interpretando valores inferiores a 2 como diversidad baja. Para el índice de Simpson, valores inferiores a 0,17 se considera adecuado para comunidades con alta diversidad y baja dominancia (Medrano & Hernández, 2017) por lo que, el propósito de este estudio fue estimar y comparar la diversidad arbórea sobre un gradiente altitudinal entre los 1 500 a los 3 000 m de la región de El Salto, Durango, que fue dividido en cinco intervalos de 300 m cada uno. Se seleccionaron doce comunidades forestales, y se ubicaron 268 sitios circulares de 0.1 ha de manera aleatoria, distribuidos de forma proporcional por cada intervalo, dentro del cual se estimó la riqueza de especies (S. En la Tabla 27, se presentan los resultados de manera general.

Tabla 27
Biodiversidad global para el municipio de Arboledas, Norte de Santander

Índices de biodiversidad global, municipio de Arboledas, Norte de Santander	
Abundancia (N)	2147
Equidad de Shannon-Wiener (H')	4.29
Riqueza Específica (S)	156
Diversidad de Especies de Margalef (D _{Mg'})	20.334
Dominancia (Simpson)	0.022

Fuente: Elaboración propia (2024)

Al realizar el análisis individualizado de cada finca, se evidenció que la finca 14 presentó el menor valor para equidad de Shannon y el valor más elevado para dominancia, reflejado esto en su abundancia (n = 17) y riqueza (S = 4). Para el índice de diversidad de Margalef, la finca 8 presentó el mayor número de individuos (n = 433), la mayor riqueza (S = 48) y el mayor índice de equidad de Shannon (Tabla 33). La diversidad de cada finca es inferior al promedio del municipio para este mismo índice, concordando con lo expresado por Morales et al. (2015), quienes mencionan que los índices de

Simpson y Shannon son afectados por la presencia del alto o bajo número de individuos de una especie.

Adicionalmente, se realizó el análisis de la distribución de los datos de estos índices (Biodiversidad, riqueza y abundancia) a través de estadística descriptiva empleando el programa Minitab 18. Se obtuvo el mayor coeficiente de asimetría positiva ($As = 1,07$) para abundancia indicando esto que las fincas del municipio presentan pocos individuos (concentración hacia el límite inferior de la distribución).

Tabla 28

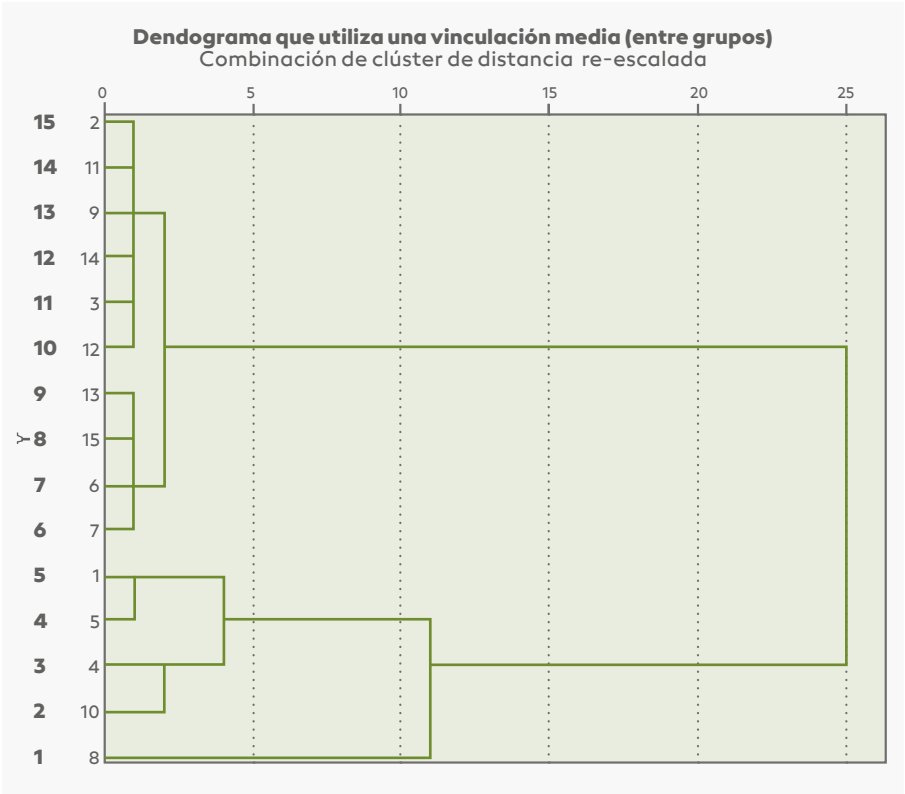
Biodiversidad y estructura de comunidad para 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas

Finca	Abundancia (N)	Riqueza (S)	Diversidad Margalef	Equidad Shanon	Dominancia
1	342	26	4,28	2,88	0,06908108
2	30	5	1,18	1,53	0,23333333
3	53	6	1,26	1,74	0,18476326
4	200	27	4,91	2,50	0,18085
5	304	24	4,02	2,81	0,07429449
6	81	11	2,28	2,22	0,12330437
7	132	18	3,48	2,42	0,12465565
8	433	48	7,74	3,36	0,05812074
9	23	5	1,28	1,50	0,24385633
10	254	41	7,22	3,32	0,0506541
11	35	7	1,69	1,78	0,19020408
12	44	7	1,59	1,59	0,24586777
13	95	14	2,85	1,84	0,29950139
14	17	4	1,06	1,14	0,3633218
15	104	7	1,29	1,51	0,28383876
Promedio	143.13	16.67	3,08	2,14	0,18
Desviación estándar	132,447222	13,85984264	2,18914011	0,70517362	0,09686266

Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

A continuación, se puede observar el diagrama de conglomerados para las 15 fincas del municipio de Arboledas. La finca La Florida (8) no presenta asociación con las demás fincas, presentando una abundancia de 433 individuos, riqueza de 48 y diversidad de 7,74 (Figura 19).

Figura 19
Diagrama de conglomerados para macrofauna del municipio de Arboledas.



Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

3.8.2 Mesofauna

Composición de la mesofauna. Se identificaron 26 especies sobresaliendo la clase insecta (Tabla 29). El número de clases y especies es bajo. En relación

a la abundancia, se reportó una media de 181,60 individuos por finca para un total de 2.724 en el municipio con una desviación estándar de 103,49. La finca 11 sobresalió con una media de 410 individuos como valor máximo y la finca 3 con 60 individuos como valor mínimo (Figura 20).

Tabla 29

Mesofauna en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas

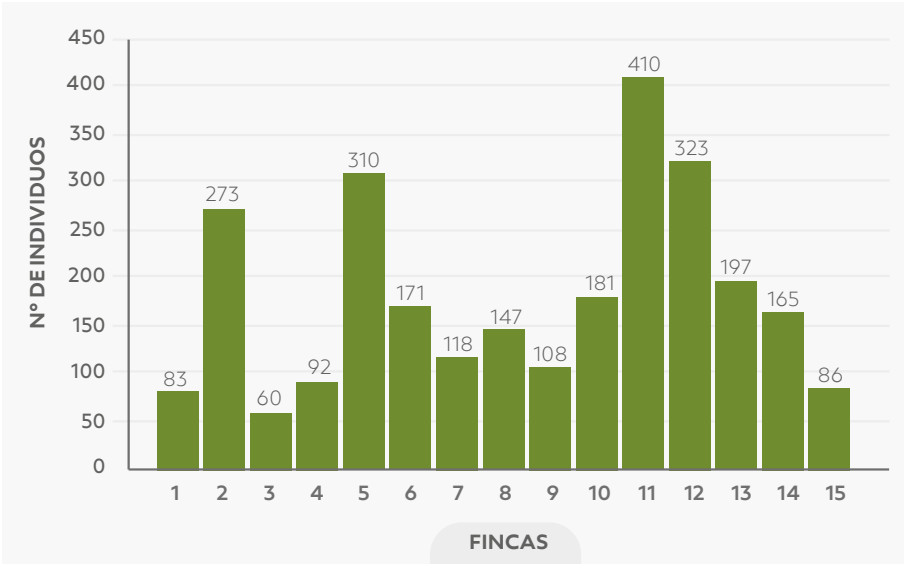
Lista de especies	Orden	Clase
<i>Symphyla</i>		<i>Miriapoda</i>
<i>Oribatida</i>		<i>Acari</i>
<i>Poduromorpha</i>	<i>Collembola</i>	<i>Insecta</i>
<i>Formicidae</i>		<i>Insecta</i>
<i>Etmobryomorpha</i>	<i>Collembola</i>	
<i>Annelida</i> <i>Lumbricus Sp2</i>		
<i>Triphinae</i>	<i>Thysanoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Formicidae Cephelotes sp1</i>		<i>Insecta</i>
<i>Galumnidae</i>		<i>Acari</i>
<i>Braconidae sp</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Elateridae (estado larval)</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Annelida Lumbricus sp1</i>		
<i>Etmobryomorpha Morfoespecie 1</i>	<i>Collembola</i>	
<i>Etmobryomorpha Isotomidae sp1</i>	<i>Collembola</i>	
<i>Symphyleona</i>	<i>Collembola</i>	
<i>Oniscidea</i>		<i>Crustaceae</i>
<i>Poduromorpha Schaefferia sp1</i>	<i>Collembola</i>	
<i>Mesotigmata</i>		<i>Acari</i>
<i>Pseudomyrmex sp1</i>	<i>Hymenoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Phyllophaga sp1</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Pseudoscorpionida Chemetidae sp.</i>		<i>Arachnida</i>
<i>Formicidae Megalomymex Sp1</i>		<i>Insecta</i>
<i>Chrysomelidae sp</i>	<i>Coleoptera</i>	<i>Insecta</i>
<i>Formicidae Solenopsis sp1</i>		<i>Insecta</i>
<i>Tetranychoidae</i>		<i>Acari</i>

<i>Crustaceae Isopoda</i>		<i>Crustacea</i>
<i>Entomobryidae</i>	<i>Collembola</i>	

Fuente: Elaboración propia (2024)

La especie de mayor frecuencia fue *collembola: poduromorpha* con 902 individuos (33,11%) seguida de *acari oribatida* con 825 individuos (30,28%). En el presente estudio, la especie *acari oribatida* fue la de mayor distribución, encontrándose en 13 de las 15 fincas evaluadas, mientras que *collembola entomobryomorpha* se identificó en 6 fincas. Las demás especies se presentaron en 7 fincas, como puede evidenciarse en la Figura 20.

Figura 20
Abundancia en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.

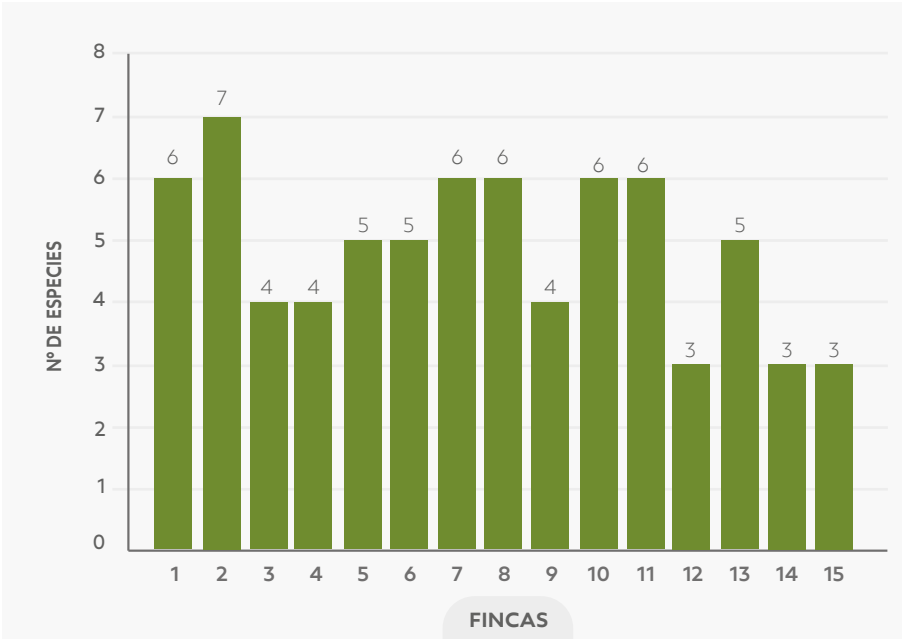


Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

Riqueza y diversidad

La Riqueza Específica global (S) fue de 26 especies con una media de 4,87 y desviación estándar de 1,30 por finca. El número más elevado de especies por finca fue de 7 mientras que se registraron valores mínimos de 3, tal como se aprecia en la Figura 21.

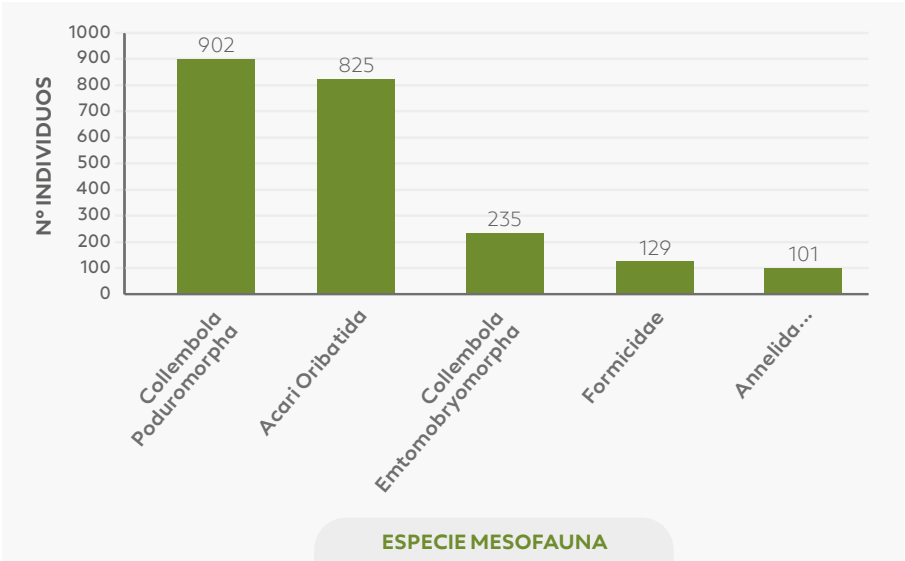
Figura 21
Riqueza Específica en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas



Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despena, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

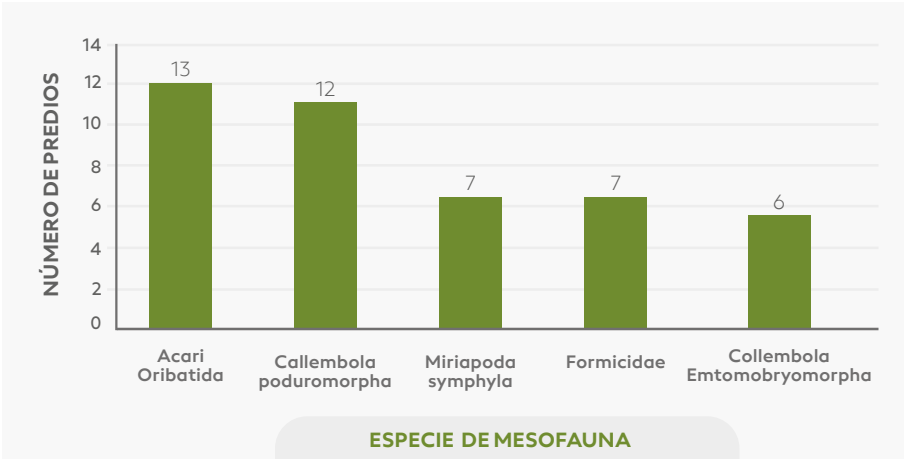
Adicional a ello, se encontraron fincas con alta riqueza de especies y abundancia de individuos. Por el contrario, se evidenciaron fincas con menor riqueza, lo que podría significar menor dominancia, más equidad y mayor diversidad (Figura 22 y Figura 23).

Figura 22
Especies de mesofauna más abundantes en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.



Fuente: Elaboración propia (2024)

Figura 23
Distribución de las especies más abundantes en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.



Fuente: Elaboración propia (2024)

A nivel municipal, el índice de diversidad de Margalef fue de 3,54, el de equidad de Shannon – Wiener fue de 2,05 y el de dominancia de Simpson de 0,022 indicando esto, dominancia alta y diversidad moderada en lo que se refiere a las especies de mesofauna identificadas. Lo anterior, concuerda con lo expresado por Medrano (2017) para el índice de Shannon – Wiener interpretando valores comprendidos entre 2 y 3,5 como diversidad moderada. Para el índice de Simpson, valores inferiores a 0,17 se considera adecuado para comunidades con alta diversidad y baja dominancia (Medrano & Hernández, 2017) por lo que, el propósito de este estudio fue estimar y comparar la diversidad arbórea sobre un gradiente altitudinal entre los 1 500 a los 3 000 m de la región de El Salto, Durango, que fue dividido en cinco intervalos de 300 m cada uno. Se seleccionaron doce comunidades forestales, y se ubicaron 268 sitios circulares de 0.1 ha de manera aleatoria, distribuidos de forma proporcional por cada intervalo, dentro del cual se estimó la riqueza de especies (S. En la Tabla 31, se presentan los resultados de manera general.

Al analizar cada finca de manera individual, la 12 presentó el menor valor de equidad de Shannon y diversidad de Margalef (baja riqueza $S = 3$) y el valor más alto de dominancia. La finca 1 presentó el valor más elevado de riqueza ($S = 6$) y de individuos ($n = 83$), mientras que la finca 2 presentó la media más elevada para el índice de equidad de Shannon con 273 individuos (Tabla 30). Se resalta, que la diversidad de cada finca es inferior al promedio del municipio concordando con lo expresado por Morales et al. (2015), quienes mencionan que los índices de Simpson y Shannon son afectados por la presencia del alto o bajo número de individuos de una especie.

Tabla 31
Índices de biodiversidad global para el municipio de Arboledas, Norte de Santander

	2018	2019
Abundancia (N)	2724	1257
Equidad de Shannon-Wiener (H')	2,05	1,96
Riqueza Específica (S)	28	18
Diversidad de especies de Margalef (D_{Mg})	3,54	2,52
Dominancia (Simpson)	0,22	0,21

Fuente: Elaboración propia (2024)

Adicionalmente, se realizó el análisis de la distribución de los datos de estos índices (Biodiversidad, riqueza y abundancia) a través de estadística descriptiva, empleando el programa Minitab 18. Se obtuvo el mayor coeficiente de asimetría positiva ($As = 1,07$) para abundancia, indicando esto que las fincas del municipio presentan pocos individuos (concentración hacia el límite inferior de la distribución). Lo anterior se refuerza con el hecho que 9 fincas (60%) presentaron abundancia menor al promedio, como se observa en la Tabla 30.

Tabla 30

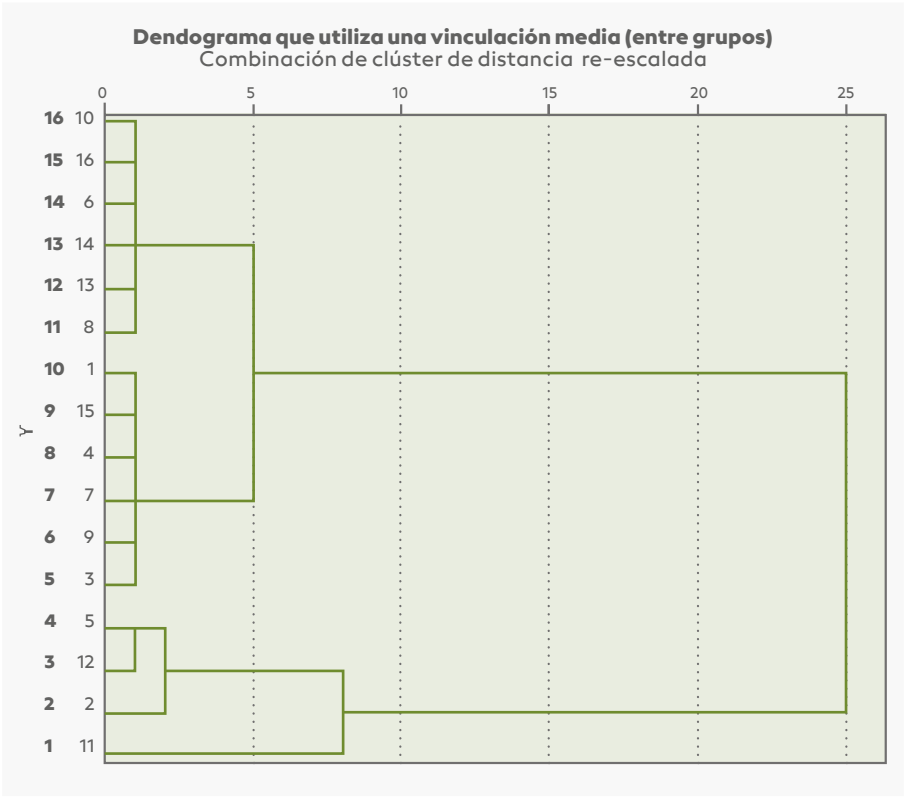
Biodiversidad y estructura de comunidad para 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas

Finca	Abundancia (N)	Riqueza (S)	Diversidad Margalef	Equidad Shanon	Dominancia
1	83	6	1,13	1,73	0,19
2	273	7	1,07	1,81	0,18
3	60	4	0,73	1,15	0,35
4	92	4	0,66	1,20	0,35
5	310	5	0,70	1,33	0,32
6	171	5	0,78	1,17	0,36
7	118	6	1,05	1,54	0,24
8	147	6	1,00	1,53	0,24
9	108	4	0,64	0,98	0,47
10	181	6	0,96	1,33	0,31
11	410	6	0,83	1,13	0,43
12	323	3	0,35	0,52	0,73
13	197	5	0,76	0,82	0,60
14	165	3	0,39	0,65	0,65
15	86	3	0,45	0,77	0,49
Promedio	181,60	4,87	0,77	1,18	0,39
Desviación estándar	103,4965838	1,302013093	0,246793071	0,382490669	0,166622995

Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

A continuación, se presenta el diagrama de conglomerados para las 15 fincas del municipio de Arboledas. La finca Vega Larga (11) se encuentra más disperso con relación a las demás fincas, presentando una abundancia de 410 individuos, riqueza de 6 y diversidad de 0,83 (Figura 24).

Figura 24
Diagrama de conglomerados para mesofauna del municipio de Arboledas.



Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

3.8.3 Microfauna

Composición de la microfauna

Se identificaron 12 especies de individuos sobresaliendo la clase nematoda. El número de clases y especies fue bajo (Tabla 31). En relación a la abundancia, se tuvo una media de 59,67 individuos por finca con desviación estándar de 33,20 para un total de 895 individuos en el municipio. Se resalta la finca 11 con el mayor número de individuos (154) y la finca 1 con el menor número (25) (Figura 26).

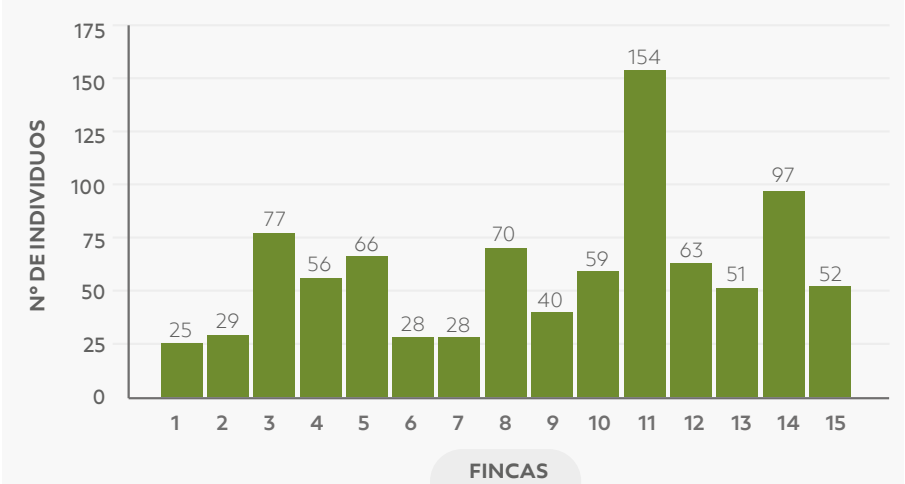
Tabla 31
Riqueza microfauna en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas

Lista de especies	Orden	Clase
Protozoos		Mastigophoras
Protozoos		Sarcodina
Rotíferos		Monogonta
Nemátodos, Familia: Anguinidae		
Nemátodos, Familia: Rhabditidae		
Protozoos		Ciliata
Rotíferos		Seisonidea
Nemátodos		Neotylenchidae
Protozoos		Sporozoa
Nemátodos, Familia: Tylenchidae		
Nemátodos, Familia: Diploscapteridae		
Nemátodos, Familia: Pratylenchidae		

Fuente: Elaboración propia (2024)

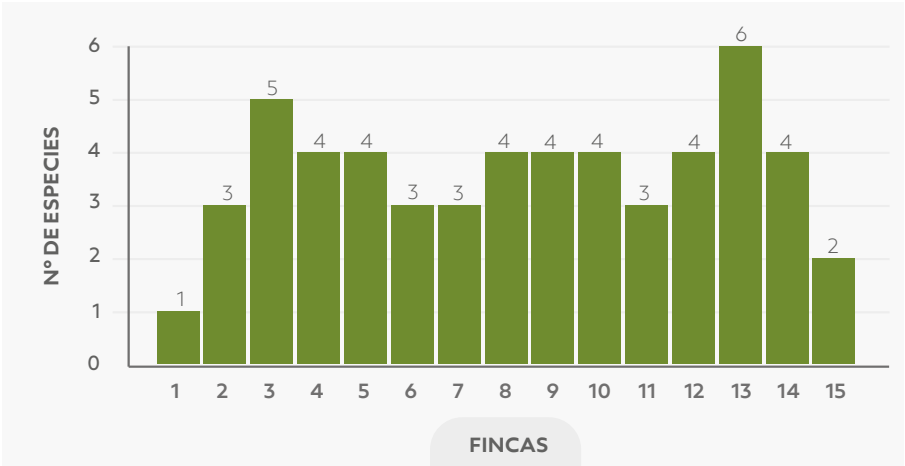
Las especies más abundantes pertenecieron a los nemátodos, familia *anguinidae* con 384 individuos (42.90%) seguida de *mastigophoras* con 127 individuos (14,18%), encontrándose presente en 14 de las 15 fincas analizadas. La familia *saprófago* se identificó en 6 fincas. Las demás especies se identificaron en un rango entre 7 y 10 fincas de distribución como puede evidenciarse en la Figura 26 y Figura 27.

Figura 25
 Abundancia en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.



Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

Figura 26
 Riqueza Específica en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.

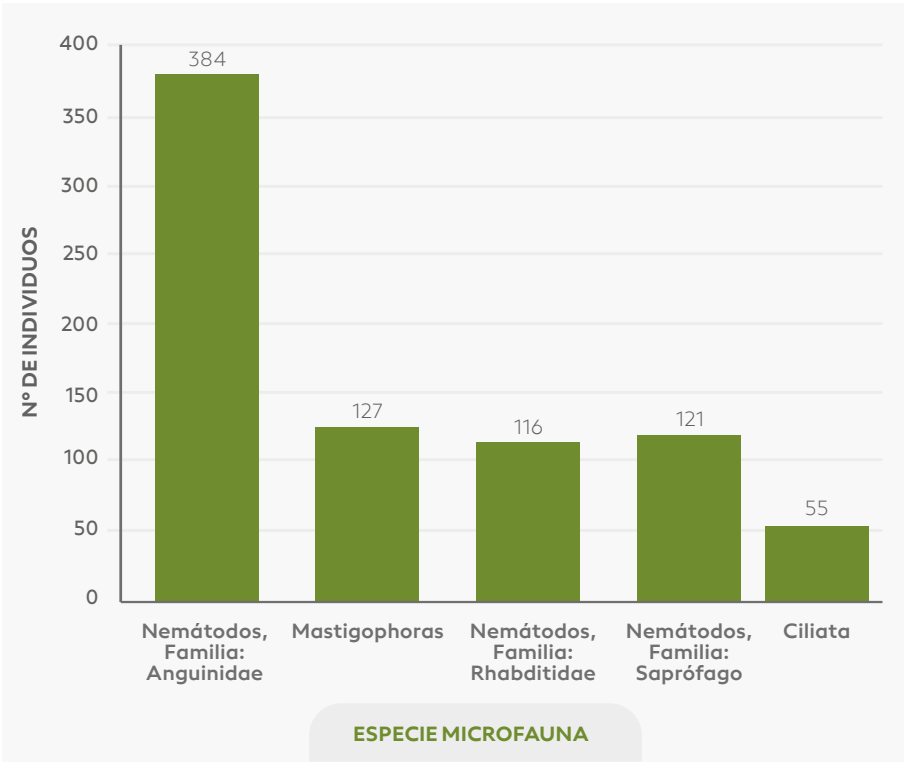


Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

Riqueza y diversidad

La Riqueza Específica (S) global fue de 12 especies, con una media de 3.60 y desviación estándar de 1,18. El número de especies osciló entre 1 y 6 en las fincas (Figura 29). Se presentan fincas con riqueza de especies y abundancia de individuos alta. Por el contrario, se identificaron especies con baja riqueza y por ende con mayor equidad y diversidad y menor dominancia (Figura 28 y Figura 29).

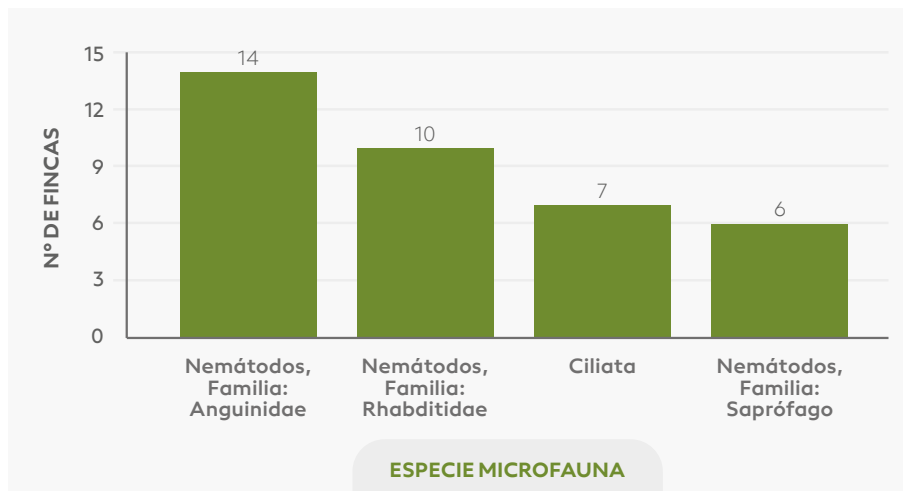
Figura 27
Especies de microfauna más abundantes en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas



Fuente: Elaboración propia (2024)

Figura 28

Distribución de las especies más abundantes en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.



Fuente: Elaboración propia (2024)

A nivel municipal, el índice de diversidad de Margalef fue de 2,07, el de equidad de Shannon – Wiener fue de 1,33 y el de dominancia de Simpson de 0,030 indicando esto, dominancia alta y diversidad baja en lo que se refiere a las especies de mesofauna identificadas. Lo anterior, concuerda con lo expresado por Medrano (2017) para el índice de Shannon – Wiener interpretando valores inferiores a 2 como diversidad baja. Para el índice de Simpson, valores inferiores a 0,17 se considera adecuado para comunidades con alta diversidad y baja dominancia (Medrano & Hernández, 2017) por lo que, el propósito de este estudio fue estimar y comparar la diversidad arbórea sobre un gradiente altitudinal entre los 1 500 a los 3 000 m de la región de El Salto, Durango, que fue dividido en cinco intervalos de 300 m cada uno. Se seleccionaron doce comunidades forestales, y se ubicaron 268 sitios circulares de 0.1 ha de manera aleatoria, distribuidos de forma proporcional por cada intervalo, dentro del cual se estimó la riqueza de especies (S. En la Tabla 32, se presentan los resultados de manera general.

El análisis individual de cada finca, permitió identificar la finca 1 con el menor índice de diversidad de Margalef y equidad de Shannon ($S = 1$; $n = 25$) y el mayor valor de dominancia. La finca 3 presentó el índice de diversidad de

Margalef más elevado ($S = 6$) y el índice de equidad de Shannon ($n = 51$) (Tabla 33).

Adicionalmente, se realizó el análisis de la distribución de los datos de estos índices (Biodiversidad, riqueza y abundancia) a través de estadística descriptiva, empleando el programa Minitab 18. Se obtuvo el mayor coeficiente de asimetría positiva ($As = 1,07$) para abundancia, indicando esto que las fincas del municipio presentan pocos individuos (concentración hacia el límite inferior de la distribución). Lo anterior se refuerza con el hecho que 9 fincas (60%) presentaron abundancia menor al promedio.

Tabla 32
Biodiversidad global para el municipio de Arboledas

Abundancia (N)	895
Equidad de Shannon-Wiener (H')	1,33
Riqueza Específica (S)	12
Diversidad de especies de Margalef (D_{Mg})	2,07
Dominancia (Simpson)	0,30

Fuente: Elaboración propia (2024)

Tabla 33
Biodiversidad y estructura de comunidad para 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas

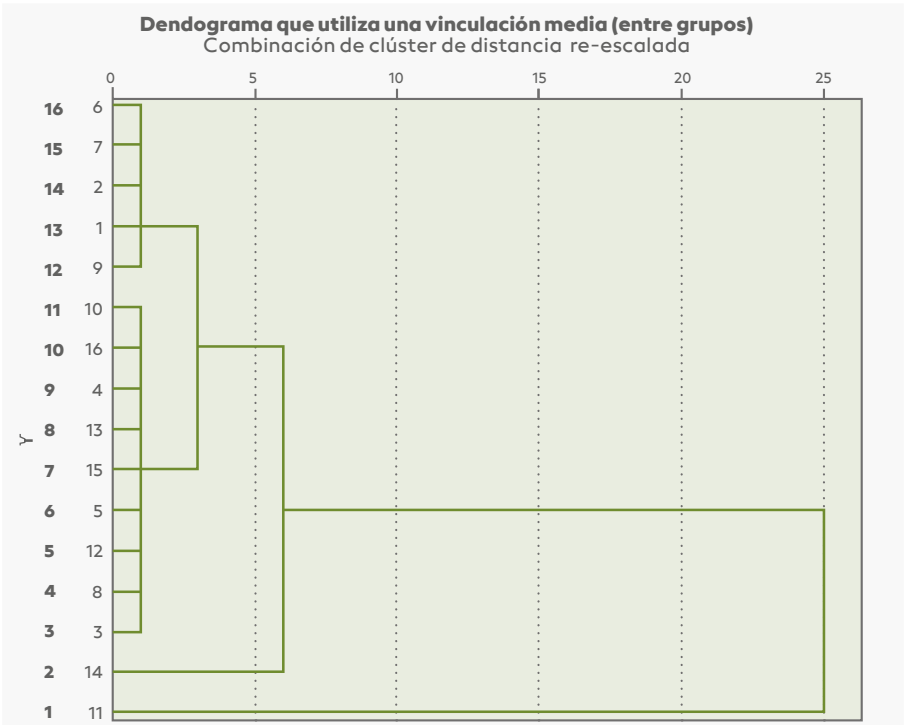
Finca	Abundancia (N)	Riqueza (S)	Diversidad Margalef	Equidad Shanon	Dominancia
1	25	1	0,00	0,00	1,00
2	29	3	0,59	0,50	0,75
3	77	5	0,92	1,27	0,32
4	56	4	0,75	1,20	0,32
5	66	4	0,72	1,15	0,34
6	28	3	0,60	0,79	0,55
7	28	3	0,60	0,90	0,46
8	70	4	0,71	1,16	0,34
9	40	4	0,81	1,02	0,43
10	59	4	0,74	1,26	0,30
11	154	3	0,40	0,14	0,95
12	63	4	0,72	1,08	0,40
13	51	6	1,27	1,34	0,34

14	97	4	0,66	1,09	0,40
15	52	2	0,25	0,63	0,56
Promedio	59,67	3,60	0,65	0,90	0,50
Desviación estándar	33,20212271	1,183215957	0,288846982	0,41404	0,22804167

Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

A continuación, se presenta el diagrama de conglomerados para las 15 fincas del municipio de Arboledas. Se puede evidenciar que la finca Vega Larga (11) se encuentra más dispersa con relación a las demás fincas, presentando una abundancia de 154 individuos, riqueza de 3 y diversidad de 0,40 (Figura 30).

Figura 29
Diagrama de conglomerados para microfauna municipio de Arboledas.



Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

3.9 Inventario forestal

A continuación, se presenta la descripción de las coberturas vegetales por cada uno de los sistemas agroforestales establecidos en las fincas del municipio de Arboledas.

Tabla 34
Coberturas forestales por modelo agroforestal

Modelo Agroecológico	Descripción	Figuras
Modelo 1. Forestal – Limón – Maíz.	En zona de lomas y valles con pendientes entre moderadas a pronunciadas con poca vegetación natural, por dedicación en gran parte a cultivos o predominan árboles dispersos en los potreros o agrupados según la necesidad, destacándose el arrayán cinaro (<i>Calycolpus moritzianus</i>) y otra especie de myrtaceae que se ha naturalizado como lo es el pomarroso (<i>Syzygium jambos</i>). También se aprecian áreas con el helecho marranero (<i>Pteridium aquilinum</i>).	
	Se destacan los ceibos (<i>Erythrina</i> cf. <i>fusca</i>) en las cañadas por su gran porte, asociadas con <i>Clusia schomburgkiana</i> , <i>Inga oerstediana</i> , <i>Eugenia</i> sp., <i>Vismia baccifera</i> y <i>Cupania</i> cf. <i>americana</i> . Así mismo se aprecian gramíneas como la cola de zorro (<i>Andropogon</i> sp.).	
	Se registraron especies de árboles, poco abundantes de <i>Cordia alliodora</i> (nogal cafetero), especie por lo general plantada para aprovechamiento forestal. También se encontró <i>Alchornea glandulosa</i> , <i>Cedrela odorata</i> y con menor valor de abundancia se halla <i>Heliocarpus americanus</i> , <i>Myrcia</i> sp. & <i>Schefflera</i> sp.	
	Se registran varias especies cultivadas o protegidas como especies de sombrío, madera o preservación de las fuentes hídricas y la estabilidad del terreno como ocurre con estos árboles grandes de madera de poco interés comercial como lo son <i>Ficus</i> sp., el caracol y <i>Erythrina</i> cf. <i>fusca</i> . Se registra por primera vez el totumo (<i>Crescentia cujete</i>) que, aunque es nativa no es propia de esta región, por lo que debe ser cultivada para la obtención de totumas o también como planta ornamental.	
	En las cañadas con elementos propios del bosque premontano o subandino como son <i>Ficus insipida</i> , <i>Cedrela montana</i> , <i>Nectandra</i> sp., <i>Hieronyma</i> cf. <i>macrocarpa</i> , <i>Myrsine coriacea</i> , <i>Calycolpus moritzianus</i> , <i>Billia rosea</i> , además de especies arbóreas de fases tempranas en la sucesión como <i>Heliocarpus americanus</i> , <i>Verbesina</i> cf. <i>planitei</i> , entre otros.	
	Destacándose los cítricos y dejando áreas de reposo o de pastoreo temporal, usualmente con diferentes grados de desarrollo de la vegetación herbácea y arbustiva, con presencia de árboles de pardillo, aguacatillo (<i>Persea caerulea</i>) y de trompillo (<i>Guarea guidonia</i>).	
	Otros tipos de coberturas que se manifiestan son los cultivos de plátano y de caña.	

Modelo 2. Forestal – Aguacate– Maíz.	Fincas ubicadas en valles y laderas de lomas de pendiente moderada por lo que la actividad agrícola y pecuaria es alta, así que persisten las áreas de pastoreo donde la vegetación arbórea ha sido reemplazada por gramíneas palatables para el ganado, principalmente vacuno y el acompañamiento de arvenses poco aceptadas, pero de difícil erradicación como es el helecho marranero y algunos árboles que dejan como reserva para postes, leña y sombrío para las reses. Dentro de las especies destacadas de árboles están: arrayán cinaro, además de guamo, pardillo y arbustos de <i>solanum</i> sp. y tuno (<i>Miconia</i> sp.). Una especie poco desarrollada <i>Eugenia</i> sp. También el ceibo (<i>Erythrina</i> cf. <i>fusca</i>), caracolis (<i>Anacardium excelsum</i>), cedro (<i>Cedrela odorata</i>), trompillo (<i>Guarea guidonia</i>), tachuelo (<i>Zanthoxylum</i> cf. <i>rhoifolium</i>), caracolí (<i>Anacardium excelsum</i>), uvo (<i>Ficus</i> sp.) cucharo (<i>Myrsine coriacea</i>), rampacho (<i>Clusia</i> cf. <i>cochliiformis</i>), pardillo (<i>Cordia</i> cf. <i>sericicalyx</i>), guarumo (<i>Cecropia</i> sp.), caimillo (<i>Chrysophyllum argenteum</i> y <i>Vochysia lehmannii</i>. Además, se presentan especies cultivadas a veces naturalizadas como mango, zapote (<i>Matisia cordata</i>), naranjo (<i>Citrus sinensis</i>), mandarino, guayabo y aguacate principalmente. Se encontró pomarroso con un sotobosque con abundancia de bejucos espinosos de dormidera (<i>Mimosa</i> sp.) y de zarza (<i>Rubus</i> sp.), además bejucos no espinosos de <i>Mikania</i> sp., así como subarbustos de <i>chromolaena</i> sp. y de <i>clidemia</i> sp. <i>casearia</i> cf. <i>sylvestris</i> y <i>vismia baccifera</i>, <i>ficus</i> sp. y con menor proporción <i>inga oerstediana</i>, <i>syzygium jambos</i> y <i>sapium laurifolium</i>. El nogal cafetero, generando poco sombrío y permitiendo el crecimiento de las plantas cultivadas como cítricos, plátano, café o del pasto en los potreros. La otra especie registrada fue el guacharaco (<i>Cupania</i> cf. <i>americana</i>) un elemento de bosque secundario.	
Modelo 3. Forestal – Aguacate– Frijol.	Zona de vida subandina en ladera de pendiente pronunciada que descienden a valles angostos donde aún persisten franjas con vegetación arbórea, quizá con entresaca de árboles de maderas comerciales no obstante mantienen la humedad y fertilidad del suelo como lo indica la presencia de helechos arborescentes del género <i>cyathea</i>, asociados con <i>inga oerstediana</i>, <i>erythrina</i> cf. <i>fusca</i>, <i>miconia dolichopoda</i>, <i>oreopanax</i> cf. <i>humboldtiana</i>, lianas de <i>psammisia</i> sp., <i>cedrela odorata</i>, <i>guadua angustifolia</i> y <i>zanthoxylum</i> cf. <i>rhoifolium</i> entre otras especies. No obstante, estas laderas de fuerte pendiente están en grandes cubiertas de pequeñas áreas de cultivo o despejadas de la vegetación para tal fin.	

	Se presentó el helecho marranero (<i>Pteridium aquilinum</i>) que puede cubrir todo un sitio en tiempos relativamente cortos, también arbustos de los géneros <i>chromolaena</i>, <i>baccharis</i>, <i>austroeupatorium</i>, <i>clidemia</i> y <i>mysine coriacea</i>. Frutales como son el mandarino y el aguacate, además de nativas que se usan para sombra como el caracolí (<i>Anacardium excelsum</i>) y la ceiba (<i>Ceiba pentandra</i>). Así mismo hay presencia de especies preferidas como cercas vivas como es el tachuelo (<i>Zanthoxylum</i> cf. <i>rhoifolium</i>) y el lechero (<i>Euphorbia cotinifolia</i>). Otra especie frecuente que es cuidada y se deja donde aparece es el cedro por su valor comercial de la madera. También está eugenia sp. un arrayán ampliamente utilizado como leña, postes, palanca y construcciones, mientras que <i>acnistus arborescens</i> contribuye con la recuperación de la vegetación arbustiva. También se encontró <i>vismia baccifera</i>, <i>miconia</i> cf. <i>dolichopoda</i>, <i>myrcia popayanensis</i>, poco abundantes están cupania americana, <i>heronyma</i> cf. <i>macrocarpa</i>, <i>nectandra</i> sp. y <i>cecropia telenitida</i>.	
--	--	--

Fuente: Elaboración propia (2024)

Las plantas como organismos convertidores de energía solar en materia orgánica, establecen una interacción directa con el medio y aunque las plantas cultivadas- particularmente las introducidas- modifican completamente los procesos de organización estructural funcional y de composición que se mantiene en los ecosistemas, de alguna manera entran a participar en procesos también transformantes por lo que la necesidad de mezclar plantas cultivadas con flora nativa, se convierte en una alternativa de mantenimiento de la diversidad biológica local y de ahí la necesidad de evaluar estas asociaciones en 15 fincas del municipio de Arboledas, donde se registraron 47 especies de plantas en zonas con alto grado de transformación, por dedicarse a labores agrícolas y de pastoreo.

De estas solamente 8 son especies exóticas algunas naturalizadas como el pomarroso (*Syzygium jambos*) que puede ofrecer alimento a aves, insectos y mamíferos incluyendo los murciélagos dentro de sus funciones ecológicas, además de que dispone de madera dura y perdurable que puede ser utilizada para postes, palanca y leña. Otras especies que se encuentran en territorio colombiano, pero no son propias del lugar son el totumo que por su baja abundancia puede asumirse que esta como planta ornamental únicamente.

Composición florística

La altitud de las fincas evaluados estuvo en el rango comprendido entre los 941 y 1.656 msnm con una media de 1.302, ubicándolos en la zona de vida de Holdridge de bosque premontano, de acuerdo al Esquema de Ordenamiento Territorial.

Se resalta, la identificación de 47 especies que pertenecen a 40 géneros y 23 familias botánicas. Sobresalen las familias *mirtaceae* y *euphorbiaceae* con 7 y 4 especies respectivamente, mientras que las familias *anacardiáceas*, *rutáceas* y *fabáceas* con 3 especies (Tabla 35). El número de especies, género y familias se considera bajo al compararlo con otros estudios realizados en bosque premontano al incluir solo individuos con DAP > 2,5 cm, en áreas de muestreo de 0,1ha.

De acuerdo a Ariza et al. (2008) las franjas altitudinales de los ecosistemas andinos, se caracterizan por presentar concentraciones elevadas de especies florísticas por unidad de área debido a la confluencia de elementos tropicales y montanos, concordando esto, con lo señalado por Marcelo et al. (2014) quienes mencionan que los bosques premontanos son áreas ricas en especies y endemismos.

Comparando los resultados del presente estudio con los reportados por Ariza et al., (2008) en cuanto a la familia *Fabaceae*, se coincide como la familia más representativa, sin embargo, en el presente estudio el número de especies fue menor. Esto puede explicarse debido a los cambios en el uso del suelo, especialmente para el establecimiento de sistemas de producción agropecuarios y forestales conllevando a la reducción de la riqueza y la diversidad de la región. El patrón característico de la zona, obedece a paisajes agropecuarios predominando árboles agrupados y dispersos de acuerdo a la necesidad y usos locales. De igual manera, se identificaron áreas denominadas de reposo colonizadas por el denominado helecho marranero (*Pteridium aquilinum*).

Tabla 35

Riqueza florística de especies forestales en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio Arboledas.

Lista de especies	Géneros	Familias	Nombre común
47	40	23	
<i>Anacardium excelsum</i>	<i>Anacardium</i>	<i>Anacardiaceae</i>	Caracolí
<i>Mangifera indica</i>	<i>Mangifera</i>	<i>Anacardiaceae</i>	Mango
<i>Mauria simplicifolia</i>	<i>Mauria</i>	<i>Anacardiaceae</i>	
<i>Oreopanax cf. humboldtiana</i>	<i>Oreopanax</i>	<i>Araliaceae</i>	Mano de tigre
<i>Schefflera sp.</i>	<i>Schefflera</i>	<i>Araliaceae</i>	Schefflera
<i>Crescentia cujete</i>	<i>Crescentia</i>	<i>Bignoniaceae</i>	Totumo
<i>Tabebuia sp</i>	<i>Tabebuia</i>	<i>Bignoniaceae</i>	Guayacán
<i>Cordia alliodora</i>	<i>Cordia</i>	<i>Boraginaceae</i>	Nogal cafetero
<i>Cordia cf. sericalyx</i>	<i>Cordia</i>	<i>Boraginaceae</i>	Pardillo
<i>Clusia cf. cochlifomis</i>	<i>Clusia</i>	<i>Clusiaceae</i>	Rampacho
<i>Clusia schomburgkiana</i>	<i>Clusia</i>	<i>Clusiaceae</i>	
<i>Psammisia sp.</i>	<i>Psammisia</i>	<i>Ericaceae</i>	Quemadera
<i>Alchornea glandulosa</i>	<i>Alchornea</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	Alchornea
<i>Alchornea sp.</i>	<i>Alchornea</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	Tambor
<i>Euphorbia cotinifolia</i>	<i>Euphorbia</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	Euphorbia
<i>Sapium laurifolium</i>	<i>Sapium</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	Ficus
<i>Albizia cf. carbonaria</i>	<i>Albizia</i>	<i>Fabaceae</i>	Albizia
<i>Erythrina cf. fusca</i>	<i>Erythrina</i>	<i>Fabaceae</i>	Bucare, Búcaro
<i>Inga oerstediana</i>	<i>Inga</i>	<i>Fabaceae</i>	Guamo
<i>Vismia baccifera</i>	<i>Vismia</i>	<i>Hypericaceae</i>	Sangro
<i>Nectandra sp.</i>	<i>Nectandra</i>	<i>Lauraceae</i>	Canelón
<i>Persea americana</i>	<i>Persea</i>	<i>Lauraceae</i>	Aguacate
<i>Ceiba pentandra</i>	<i>Ceiba</i>	<i>Malvaceae</i>	Ceiba
<i>Heliocarpus americanus</i>	<i>Heliocarpus</i>	<i>Malvaceae</i>	Balso blanco
<i>Miconia cf. dolichopoda</i>	<i>Miconia</i>	<i>Melastomataceae</i>	
<i>Miconia cf. minutiflora</i>	<i>Miconia</i>	<i>Melastomataceae</i>	
<i>Cedrela odorata</i>	<i>Cedrela</i>	<i>Meliaceae</i>	Cedro rojo
<i>Guarea cf. guidonia</i>	<i>Guarea</i>	<i>Meliaceae</i>	Cedrito
<i>Ficus cf. insipida</i>	<i>Ficus</i>	<i>Moraceae</i>	Ficus
<i>Ficus sp</i>	<i>Ficus</i>	<i>Moraceae</i>	Uvo

<i>Morella pubescens</i>	<i>Morella</i>	<i>Myricaceae</i>	Roble
<i>Calycolpus moritzianus</i>	<i>Calycolpus</i>	<i>Myrtaceae</i>	Arrayán
<i>Eugenia sp</i>	<i>Eugenia</i>	<i>Myrtaceae</i>	Arrayán
<i>Myrcia popayanensis</i>	<i>Myrcia</i>	<i>Myrtaceae</i>	Zururo
<i>Myrcia sp.</i>	<i>Myrcia</i>	<i>Myrtaceae</i>	Guacharaco
<i>Myrcianthes cf. orthostemon</i>	<i>Myrcianthes</i>	<i>Myrtaceae</i>	Arrayán Negro
<i>Psidium guajava</i>	<i>Psidium</i>	<i>Myrtaceae</i>	Guayaba
<i>Syzygium jambos</i>	<i>Syzygium</i>	<i>Myrtaceae</i>	Pomarrosa
<i>Hieronyma cf. macrocarpa</i>	<i>Hieronyma</i>	<i>Phyllanthaceae</i>	Candelo
<i>Myrsine coriacea</i>	<i>Myrsine</i>	<i>Primulaceae</i>	Talco
<i>Citrus reticulata</i>	<i>Citrus</i>	<i>Rutaceae</i>	Mandarino
<i>Citrus sinensis</i>	<i>Citrus</i>	<i>Rutaceae</i>	Naranja
<i>Zanthoxylum cf rhoifolium</i>	<i>Zanthoxylum</i>	<i>Rutaceae</i>	Tachuelo
<i>Casearia cf. sylvestris</i>	<i>Casearia</i>	<i>Salicaceae</i>	Annonaceae
<i>Cupania cf. americana</i>	<i>Cupania</i>	<i>Sapindaceae</i>	Guacharaco
<i>Acnistus arborescens</i>	<i>Acnistus</i>	<i>Solanaceae</i>	
<i>Cecropia cf. telenitida</i>	<i>Cecropia</i>	<i>Urticaceae</i>	Yarumo

Fuente: Elaboración propia (2024)

Para el índice de abundancia, se identificaron 508 individuos con una media de 33,87 árboles por finca, un coeficiente de variación del 74,89% y una desviación estándar de 25,36. Se resalta la finca 9 con 94 individuos, mientras que en la finca 4 se identificaron 6 ejemplares (Figura 30).

Las especies de mayor abundancia fueron:

- *Cordia alliodora* (Nogal cafetero, pardillo) con 73 individuos (14,37%).
- *Cedrela odorata* (Cedro rojo) con 60 individuos (11,81%).
- *Citrus reticulata* (Mandarino) con 58 individuos (11,42%).
- *Heliocarpus americanus* con 42 individuos (8,27%).

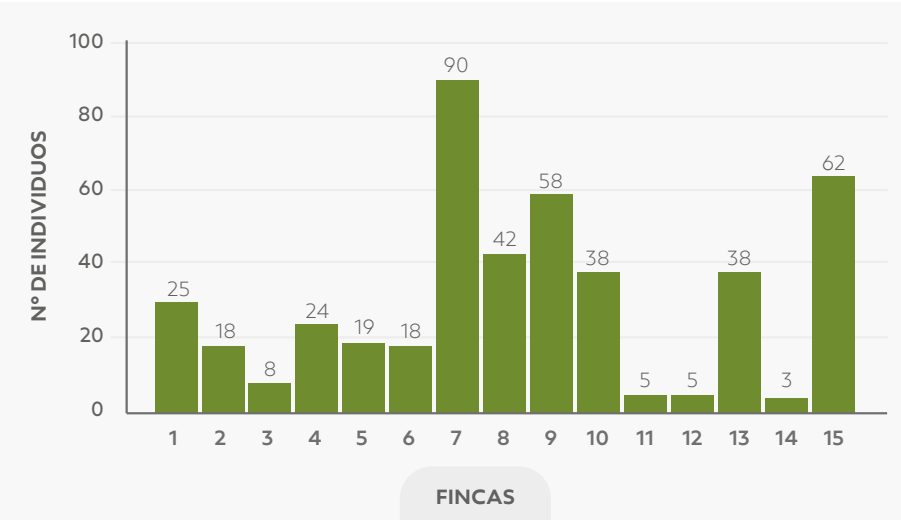
Estos datos concuerdan con reportes de sistemas agroforestales en donde predomina *C. alliodora* y *C. odorata* agroecosistemas (Maza et al., 2016; Orozco et al., 2013). La especie *heliocarpus americanus* es conocida como sucesional, de vida efímera, cuyo principal uso es la extracción del mucílago

para el proceso de clarificar la panela; motivo por el cual se conserva y se propaga (Vásquez et al., 2006).

La especie *C. odorata* fue identificada en 10 de las 15 fincas estudiadas, mientras que *C. alliodoro*, *H. americanus* y *C. reticulata* fueron encontradas en 5, 3 y 2 fincas respectivamente. La especie *eugenia* sp. se identificó en 9 fincas, *citrus sinensis*, *anacardium excelsum*, *zanthoxylum cf rhoifolium*, *inga oerstediana* y *vismia baccifera*, en 6 fincas con abundancias inferiores. En la Figura 30 y Figura 31 se presentan los reportes de abundancia y riqueza de las 15 fincas estudiadas.

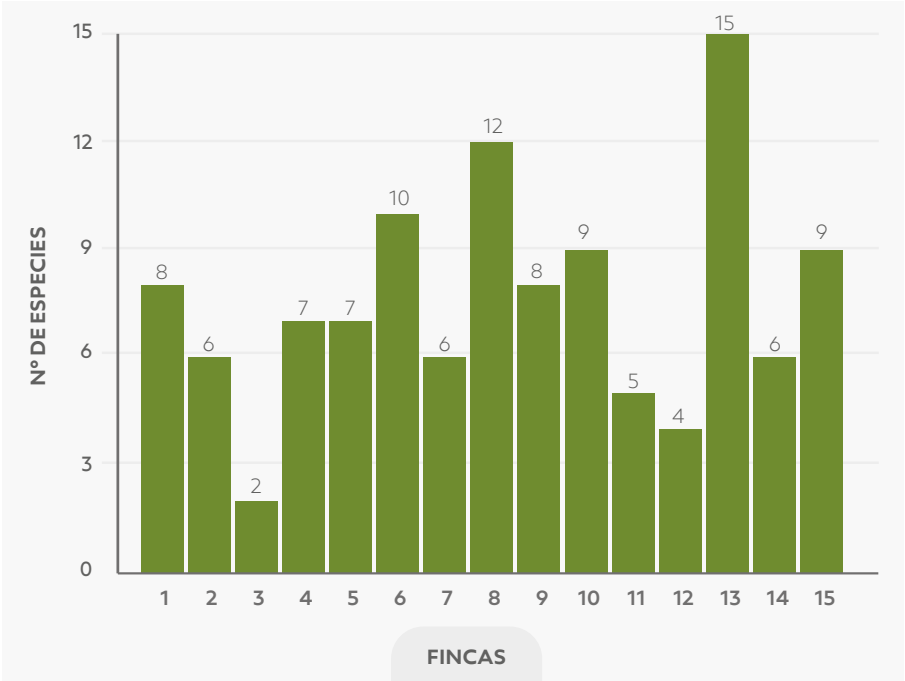
Las especies *sapium laurifolium*, *myrcia* sp., *acnistus arborescens*, *oreopanax cf. humboltiana*, *clusia schomburgkiana*, *alchornea* sp., *albizia cf. carbonaria*, *psidium guajava*, *ceiba pentandra*, *morella pubescens*, *guarea cf. guidonia*, *schefflera* sp., *euphorbia cotinifolia*, *mangifera indica*, *psammisia* sp., y *tabebuia* sp., se identificó un solo individuo por lo que fueron consideradas como raras.

Figura 30
Abundancia en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio Arboledas.



Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

Figura 31
Riqueza Específica en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.

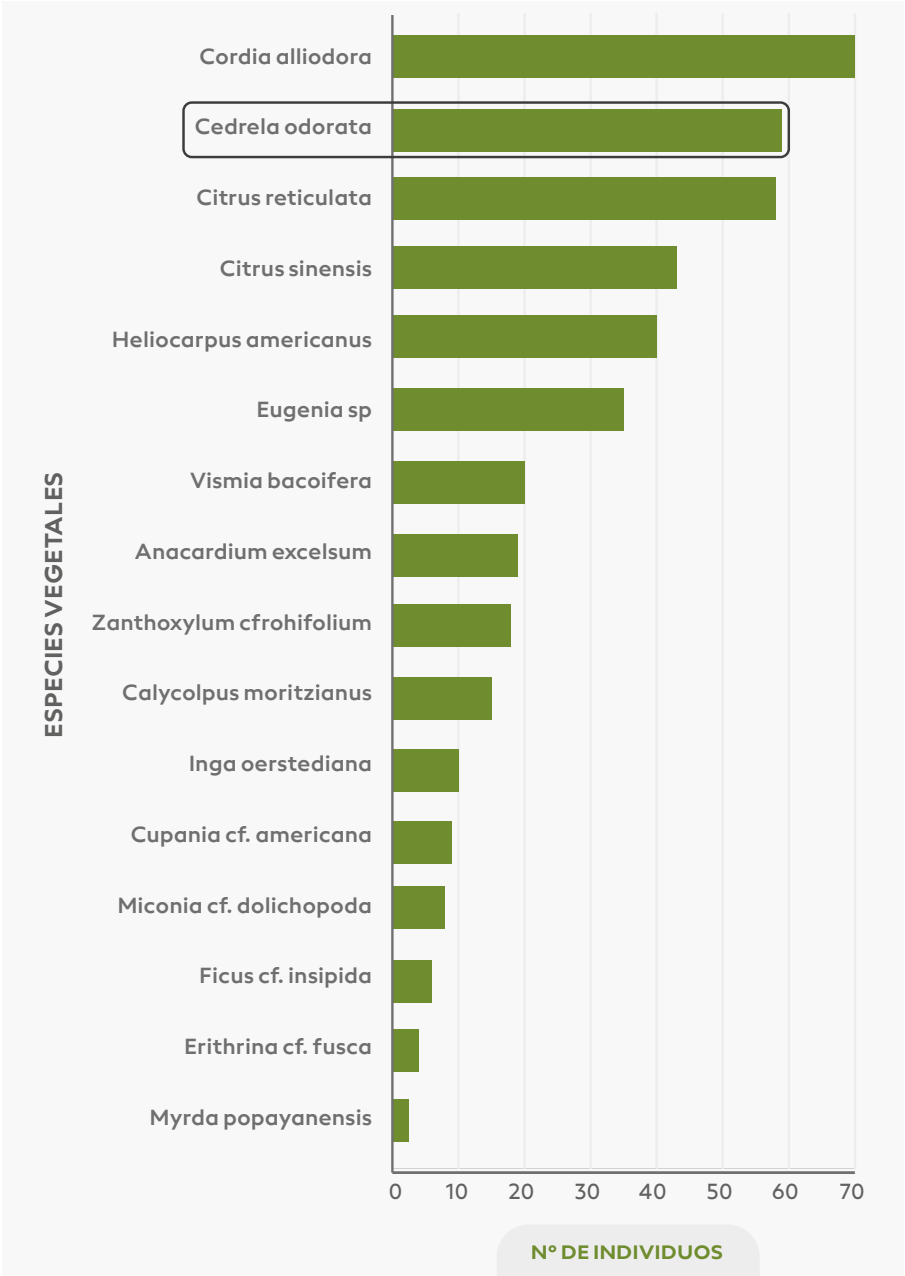


Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

Riqueza y diversidad

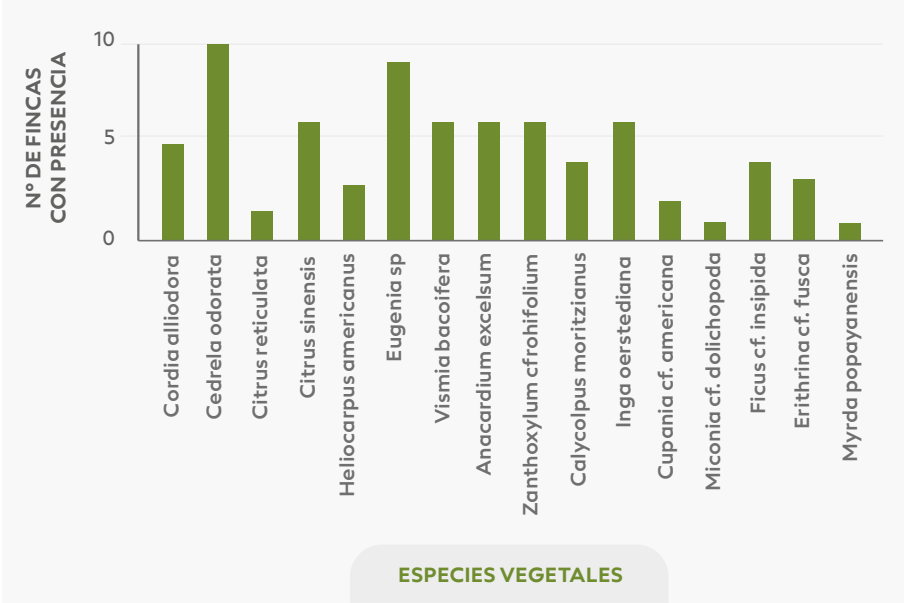
La Riqueza Específica global (S) presentó una media de 7,6 especies por finca con una desviación estándar de 3,2 y un total de 47 especies en el municipio. El rango de especies estuvo entre 2 y 15. En la Figura 32 y Figura 33 se presentan los datos de las fincas analizadas, encontrando fincas con baja riqueza de especies, pero alta abundancia de individuos.

Figura 32
Especies forestales más abundantes en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 33
Especies más abundantes en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.



Fuente: Elaboración propia (2024)

A nivel municipal, el índice de diversidad de Margalef fue de 7,38, el de equidad de Shannon – Wiener fue de 2,97 y el de dominancia de Simpson de 0,076 indicando esto, dominancia baja y diversidad moderada en lo que se refiere a las especies florísticas identificadas. Lo anterior, concuerda con lo expresado por Medrano (2017) para el índice de Shannon – Wiener interpretando valores entre 2 y 3,5 como diversidad moderada. Para el índice de Simpson, valores inferiores a 0,17 se considera adecuado para comunidades con alta diversidad y baja dominancia (Medrano & Hernández, 2017)por lo que, el propósito de este estudio fue estimar y comparar la diversidad arbórea sobre un gradiente altitudinal entre los 1 500 a los 3 000 m de la región de El Salto, Durango, que fue dividido en cinco intervalos de 300 m cada uno. Se seleccionaron doce comunidades forestales, y se ubicaron 268 sitios circulares de 0.1 ha de manera aleatoria, distribuidos de forma proporcional por cada intervalo, dentro del cual se estimó la riqueza de especies (S. En la Tabla 36, se presentan los resultados de manera general.

Al analizar cada finca, se identificó que la finca 3 presentó mayor dominancia y menor diversidad de Margalef y equidad de Shannon, siendo esto reflejado por su baja abundancia ($n = 10$) y riqueza ($S = 2$). La finca 13 presentó el índice de diversidad de Margalef mayor con una riqueza de 15 y 40 individuos, siendo este superior a la media de abundancia. La finca 8 obtuvo el mayor índice de Shannon con 12 especies y 47 individuos. La diversidad media encontrada en cada finca es inferior a la media del municipio, concordando esto con lo reportando por Morales et al. (2015) quienes afirman que los índices de Simpson y Shannon son sensibles a la identificación de especies con un solo individuo o a especies demasiado abundantes, situaciones presentadas en este estudio.

Tabla 36
Biodiversidad global para el municipio de Arboledas

Abundancia (N)	508
Equidad de Shannon-Wiener (H')	2,97
Riqueza Específica (S)	47
Diversidad de especies de Margalef (D_{Mg})	7,38
Dominancia (Simpson)	0,076

Fuente: Elaboración propia (2024)

Adicional a ello, se realizó análisis de distribución de los datos de estos índices (Biodiversidad, riqueza y abundancia) a través de estadística descriptiva, empleando el programa Minitab 18. Se obtuvo el mayor coeficiente de asimetría positiva ($As = 1,07$) para abundancia indicando esto que las fincas del municipio presentan pocos individuos (concentración hacia el límite inferior de la distribución).

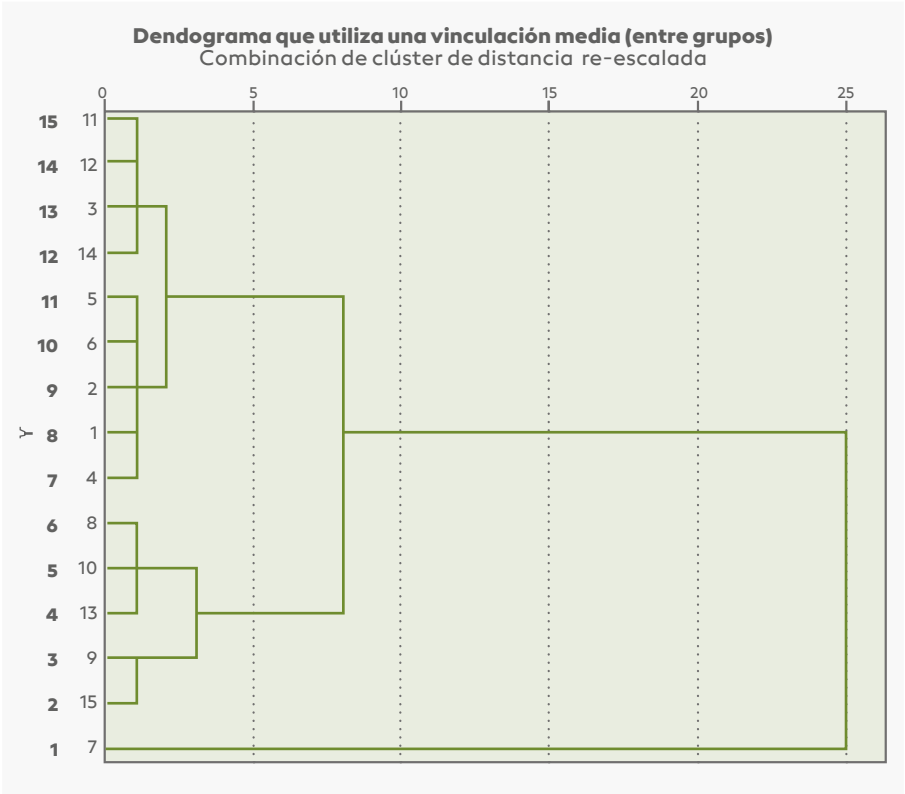
Tabla 37
Biodiversidad y estructura de comunidad para 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas

Fincas	Abundancia	Riqueza Específica (S)	Diversidad Margalef (D _{Mg})	Equidad (Shannon-Wiener)	Dominancia (Simpson)
1	32	8	2,020	1,306	0,383
2	18	6	1,730	1,538	0,247
3	10	2	0,434	0,611	0,580
4	27	7	1,820	1,826	0,174
5	22	7	1,941	1,819	0,174
6	21	10	2,956	2,017	0,152
7	94	6	1,101	1,083	0,406
8	47	12	2,857	2,033	0,169
9	61	8	1,703	1,800	0,187
10	42	9	2,140	1,948	0,154
11	10	5	1,737	1,332	0,280
12	9	4	1,365	1,215	0,333
13	40	15	3,795	1,769	0,346
14	6	6	2,791	1,792	0,167
15	69	9	1,889	1,087	0,558
Promedio	33,87	7,6	2,02	1,55	0,29
Desviación Estándar	25,36	3,20	0,82	0,42	0,14

Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

A continuación, se presenta un diagrama de conglomerados para las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas. La finca 7 no presenta similitud con las demás fincas del municipio (Figura 34).

Figura 34
 Diagrama de conglomerados para inventario forestal municipio de Arboledas.



Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

3.10 Validación de modelos agroforestales

3.10.1 Efecto de los sistemas agroforestales sobre la calidad del agua

En el modelo agroecológico 1, su implementación generó disminución ($p<0,05$) de las variables zinc, cobre y nitrato y aumentó ($p<0,05$), para manganeso y amonio (Tabla 38).

Tabla 38
Comparación de las características químicas y físicas del agua antes y después del establecimiento del Modelo agroforestal 1

	Media antes	Media después	t	Sig
Sodio	0,2480	0,2430	0,082	0,936
Potasio	0,0250	0,0220	0,474	0,641
Calcio	0,7720	0,9090	-0,563	0,580
Magnesio	0,2200	0,1690	0,720	0,481
Amonio	0,0350	0,1000	-10,207	0,000
Scationes	1,3000	1,4420	-0,415	0,683
Cloruros	0,4000	0,2300	1,408	0,176
Sulfatos	0,1760	0,1850	-0,087	0,932
Carbonatos	0,0500	0,0550	-1,000	0,331
Bicarbonatos	0,7800	1,0450	-1,004	0,329
Nitratos	0,0190	0,0017	2,913	0,009
Fosfatos	,1898	,1750	0,487	0,632
Saniones	1,6144	1,6917	-0,198	0,846
Hierro	0,2150	0,0250	7,778	0,000
Manganeso	0,0310	0,0670	-7,453	0,000
Cobre	,0170	0,0100	2,689	0,015
Zinc	,3340	0,0100	3,192	0,005
Boro	,0930	0,0620	1,357	0,192
Dureza	49,5500	54,1000	-0,300	0,767
pH	7,8330	7,6560	2,771	0,013
CE	0,1476	0,1160	0,741	0,468
RAS	0,4020	0,3580	00,528	,604

Fuente: Elaboración propia (2024)

El modelo agroecológico 2 (Cedro – Aguacate – Maíz) incrementó ($p<0,05$) la concentración de manganeso y amonio, además, disminuyó ($p<0,05$) los niveles de cobre y nitratos (Tabla 39).

Tabla 39

Comparación de las características químicas y físico del agua antes y después del establecimiento del Modelo agroforestal 2

	Antes	Después	t	P valor
Sodio	0,2790	0,2610	0,223	0,826
Potasio	0,0220	0,0150	1,000	0,331
Calcio	1,2340	0,9070	0,918	0,371
Magnesio	0,2590	0,1650	1,163	0,260
Amonio	0,0340	00,1090	-18,190	0,000
Scationes	1,8280	1,4620	0,810	0,429
Cloruros	0,3680	0,2400	1,313	0,206
Sulfatos	0,3080	0,1540	1,092	0,289
Carbonatos	0,0510	0,0500	1,000	0,331
Bicarbonatos	1,0000	0,9800	0,060	0,953
Nitratos	0,0335	0,0015	3,614	0,002
Fosfatos	0,1617	0,2330	-1,830	0,084
Saniones	1,9225	1,6585	0,595	0,559
Hierro	1,0270	0,0170	1,329	0,200
Manganeso	0,0310	0,0590	-3,691	0,002
Cobre	0,0200	0,0100	3,354	0,004
Zinc	0,2110	0,0110	2,101	0,050
Boro	0,0990	0,0530	2,037	0,057
Dureza	74,5500	53,7000	0,983	0,339
pH	7,6360	7,5850	0,661	0,517
CE	,1980	,1070	1,965	0,065
RAS	,4030	,4020,	0,008	0,994

Fuente: Elaboración propia (2024)

El modelo agroecológico 3 (Cedro – Aguacate – Frijol), se presentó diferencia ($p\text{valor}<0,05$), para 7 variables con incremento para bicarbonatos, amonio, fosfatos, RAS y manganeso, además, y disminución ($p<0,05$) de la concentración de cobre y nitratos (Tabla 40).

Tabla 40
Comparación de las características químicas y físicas del agua antes y después del establecimiento del Modelo agroforestal 3

	Antes	Después	t	P valor
Sodio	0,2280	0,3600	-1,758	0,096
Potasio	0,0239	0,0450	-0,848	0,408
Calcio	0,5440	0,6260	-0,433	0,670
Magnesio	0,1920	0,1150	1,123	0,276
Amonio	0,0290	0,1040	-13,618	0,000
Scationes	1,0170	1,2620	-0,752	0,462
Cloruros	0,3080	0,2500	0,944	0,358
Sulfatos	0,1870	0,1430	0,402	0,692
Carbonatos	0,0500	0,0500	0,000	1,000
Bicarbonatos	0,4500	0,8100	-2,187	0,042
Nitratos	0,0151	0,0017	3,751	0,001
Fosfatos	0,1878	0,2480	-2,701	0,015
Saniones	1,1973	1,5027	-1,022	0,320
Hierro	0,2360	0,0970	2,041	0,056
Manganeso	0,0290	0,0780	-6,297	0,000
Cobre	0,0180	0,0120	3,182	0,005
Zinc	0,2690	0,0100	2,615	0,018
Boro	0,0960	0,0620	2,100	0,050
Dureza	36,8500	37,8000	-0,075	0,941
pH	7,7050	7,5400	1,390	0,181
CE	0,1119	0,0870	0,631	0,536
RAS	0,4150	0,5930	-2,229	0,039

Fuente: Elaboración propia (2024)

3.10.2 Efecto de los modelos sobre las propiedades agroquímicas del suelo

Se evidenció variabilidad en los parámetros del suelo analizados en todas las parcelas del modelo agroecológico 1 con coeficientes de variación inferiores al 60% (Tabla 41).

Tabla 41
Estadística descriptiva de variables para las 30 parcelas del Modelo 1 (Cedro-Limón- Maíz) del municipio de Arboledas

Estadísticos descriptivos					
	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	CV (%)
Potasio (meq / 100 cc)	0,08	0,49	0,3110	0,12862	41,36
Calcio (meq / 100 cc)	0,06	6,13	1,7650	2,31712	131,28
Magnesio (meq / 100 cc)	0,14	2,07	0,8570	0,70748	82,55
Sodio (meq / L)	0,04	0,20	0,1030	0,04270	41,46
Aluminio (meq / 100 cc)	0,01	4,90	1,7820	1,43314	80,42
C.I.C (meq / 100 g)	0,10	26,97	11,4690	7,94009	69,23
Cloruros (meq / 100L)	0,40	0,60	0,5200	0,08219	15,81
Fósforos ppm	2,00	17,00	4,6000	4,47710	97,33
N - NH4 ppm	6,00	18,00	11,6000	3,16930	27,32
N-NO3 ppm	5,00	40,00	13,5000	11,55903	85,62
Azufre ppm	1,00	3,00	1,7000	,67495	39,70
Hierro ppm	60,00	268,00	137,7000	64,05388	46,52
Manganeso (ppm)	2,00	106,00	36,9000	37,45946	101,52
Cobre (ppm)	0,10	0,20	0,1200	0,04216	35,13
Zinc (ppm)	2,00	4,20	2,8000	0,70396	25,14
Boro (ppm)	0,07	0,37	0,1360	0,09336	68,65
pH	4,38	5,61	4,9620	0,47354	9,54
C.E. m.S/cm	0,03	0,32	0,1370	0,09429	68,82
M. Orgánica %	1,97	5,82	3,0880	1,23159	39,88
C.O. %	1,14	3,38	1,8040	,72150	39,99
Sat. % Bases %	5,80	88,61	27,7350	31,97603	115,29
Densidad A. (g/cc)	0,77	1,30	1,0770	0,16694	15,50

Fuente: Elaboración propia (2024)

Luego de la implementación de los sistemas agroforestales, se evidenció variabilidad en ambas parcelas con coeficiente de variación inferior al 60%. En la parcela agroecológica, las concentraciones de CIC, CE, Mn, Al, Mg, Ca, N-No y saturación de bases sobrepasaron el 60% en el coeficiente de variación, mientras que en la parcela testigo estos mismos parámetros más el nivel de B y P (Tabla 42).

Tabla 42

Estadística descriptiva de variables para las parcelas experimentales y testigo del Modelo 1 (Cedro- Limón- Maíz) del municipio de Arboledas

	Tratamiento	Media	Desviación tip.	Coefficiente de Variación (%)
Potasio (meq / 100 cc)	Parcela Experimental	0,3580	0,13627	38,06
	Parcela Testigo	0,2640	0,11459	43,41
Calcio (meq / 100 cc)	Parcela Experimental	1,9340	2,51341	129,96
	Parcela Testigo	1,5960	2,38572	149,48
Magnesio (meq / 100 cc)	Parcela Experimental	0,9100	0,79445	87,30
	Parcela Testigo	0,8040	0,69859	86,89
Sodio (meq / L)	Parcela Experimental	0,1140	0,05225	45,83
	Parcela Testigo	0,0920	0,03271	35,55
Aluminio (meq / 100 cc)	Parcela Experimental	1,3220	,92218	69,76
	Parcela Testigo	2,2420	1,80051	80,31
C.I.C (meq / 100 g)	Parcela Experimental	13,1340	7,91061	60,23
	Parcela Testigo	9,8040	8,50547	86,76
Cloruros (meq / 100L)	Parcela Experimental	0,5440	0,06066	11,15
	Parcela Testigo	0,4960	0,10040	20,24
Fósforos ppm	Parcela Experimental	5,8000	6,37966	109,99
	Parcela Testigo	3,4000	0,89443	26,31
N - NH4 ppm	Parcela Experimental	12,2000	4,38178	35,92
	Parcela Testigo	11,0000	1,58114	14,37
N-NO3 ppm	Parcela Experimental	9,0000	6,51920	72,44
	Parcela Testigo	18,0000	14,40486	80,03
Azufre ppm	Parcela Experimental	2,0000	,70711	35,36
	Parcela Testigo	1,4000	,54772	39,12
Hierro ppm	Parcela Experimental	116,2000	42,16871	36,29
	Parcela Testigo	159,2000	79,35805	49,85
Manganeso (ppm)	Parcela Experimental	34,0000	42,07137	123,74
	Parcela Testigo	39,8000	36,96214	92,87
Cobre (ppm)	Parcela Experimental	0,1200	0,04472	37,27
	Parcela Testigo	0,1200	0,04472	37,27
Zinc (ppm)	Parcela Experimental	2,9400	0,53666	18,25
	Parcela Testigo	2,6600	0,88204	33,16
Boro (ppm)	Parcela Experimental	0,1480	0,12538	84,72
	Parcela Testigo	0,1240	0,05941	47,91
pH	Parcela Experimental	5,0580	0,46386	9,17
	Parcela Testigo	4,8660	0,51607	10,61

C.E. m.S/cm	Parcela Experimental	0,1240	0,08473	68,33
	Parcela Testigo	0,1500	0,11136	74,24
M. Orgánica %	Parcela Experimental	3,4460	1,68583	48,92
	Parcela Testigo	2,7300	0,50040	18,33
C.O. %	Parcela Experimental	2,0000	0,97931	48,97
	Parcela Testigo	1,6080	0,34084	21,20
Sat. % Bases %	Parcela Experimental	28,7880	34,83630	121,01
	Parcela Testigo	26,6820	32,92733	123,41
Densidad A. (g/cc)	Parcela Experimental	1,0440	,20452	19,59
	Parcela Testigo	1,1100	,13472	12,14

Fuente: Elaboración propia (2024)

Para el Modelo agroforestal 1, no se evidenció diferencia ($P < 0,05$); para las variables estudiadas en ambos tipos de parcelas (Tabla 43).

Tabla 43

Comparación de las variables agroquímicas del suelo en el Modelo 1 (Cedro- Limón- Maíz) del municipio de Arboledas.

Variable agroquímica del suelo	Media Parcela Experimental	Media Parcela Testigo	Valor de t	Significación bilateral
Potasio (meq / 100 cc)	0,3580	0,2640	1,181	0,272
Calcio (meq / 100 cc)	1,9340	1,5960	0,218	0,833
Magnesio (meq / 100 cc)	0,9100	0,8040	0,224	0,828
Sodio (meq / L)	0,1140	0,0920	0,798	0,448
Aluminio (meq / 100 cc)	1,3220	2,2420	-1,017	0,339
C.I.C (meq / 100 g)	13,1340	9,8040	0,641	0,539
Cloruros (meq / 100L)	0,5440	0,4960	0,915	0,387
Fosforos ppm	5,8000	3,4000	0,833	0,429
N - NH ₄ ppm	12,2000	11,0000	0,576	0,580
N-NO ₃ ppm	9,0000	18,0000	-1,273	0,239
Azufre ppm	2,0000	1,4000	1,500	0,172
Hierro ppm	116,2000	159,2000	-1,070	0,316
Manganeso (ppm)	34,0000	39,8000	-0,232	0,823
Cobre (ppm)	0,1200	0,1200	0,000	1,000

Zinc (ppm)	2,9400	2,6600	0,606	0,561
Boro (ppm)	0,1480	0,1240	0,387	0,709
pH	5,0580	4,8660	0,619	0,553
C.E. m.S/cm	0,1240	0,1500	-0,415	0,689
M. Orgánica %	3,4460	2,7300	0,910	0,389
C.O. %	2,0000	1,6080	0,845	0,422
Sat. % Bases %	28,7880	26,6820	0,098	0,924
Densidad A. (g/cc)	1,0440	1,0440	-0,603	0,566

Fuente: Elaboración propia (2024)

Para el Modelo agroforestal 2; 13 de los 22 parámetros analizados en la totalidad de las parcelas presentaron un coeficiente de variación inferior al 60%. Solo las concentraciones de Mg, P, Ca, Al, N-NO, saturación de bases, Mn y S sobrepasaron este valor (Tabla 44).

Tabla 44

Estadística descriptiva de variables para las 30 parcelas del Modelo 2 (Cedro-Aguacate- Maíz) del municipio de Arboledas

Estadísticos descriptivos					
	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Cv (%)
Potasio (meq / 100 cc)	0,14	0,68	0,3350	0,17044	50,88
Calcio (meq / 100 cc)	0,43	15,41	5,2230	4,94474	94,67
Magnesio (meq / 100 cc)	0,22	3,00	1,2880	,96118	74,63
Sodio (meq / L)	0,07	0,24	,1450	,06276	43,28
Aluminio (meq / 100 cc)	0,01	4,00	1,5530	1,49860	96,50
C.I.C (meq / 100 g)	4,42	19,09	13,1460	4,69891	35,74
Cloruros (meq / 100L)	0,40	0,64	0,5080	0,07786	15,33
Fósforos ppm	2,00	45,00	14,8000	17,28712	116,80
N - NH4 ppm	8,00	44,00	17,3000	10,12203	58,51
N-NO3 ppm	30,00	200,00	78,0000	57,50362	73,72
Azufre ppm	1,00	34,00	5,8000	10,19586	175,79
Hierro ppm	88,00	385,00	187,2000	96,65379	51,63
Manganeso (ppm)	9,00	147,00	56,9000	50,92140	89,49

Cobre (ppm)	0,10	0,20	0,1300	0,04830	37,15
Zinc (ppm)	2,50	270,00	31,7500	83,74232	263,76
Boro (ppm)	0,07	0,24	0,1210	0,05567	46,01
pH	3,85	6,36	4,9070	,83237	16,96
C.E. m.S/cm	0,26	0,95	0,5100	,22563	44,24
M. Orgánica %	2,59	5,42	3,7060	,88446	23,87
C.O. %	1,56	3,14	2,1560	,50370	23,36
Sat. % Bases %	4,51	429,52	83,3630	128,98479	154,73
Densidad A. (g/cc)	0,95	1,33	1,0850	,12492	11,51

Fuente: Elaboración propia (2024)

En 7 de los 22 parámetros evaluados se presentó variabilidad superior al 60% luego de la implementación de los sistemas agroforestales en ambas parcelas, agroecológica y testigo: Mg, Al, Ca, Mn, S, P, saturación de bases. De igual manera, en la parcela agroecológica los parámetros Zn, Fe y N-NO₃ y N-Nh₄ en la parcela testigo sobrepasaron este coeficiente de variación (Tabla 45).

Tabla 45

Estadística descriptiva de variables del suelo en el Modelo 2 (Cedro-Aguacate-Maíz) del municipio de Arboledas

	Tratamiento	Media	Desviación tip.	Coefficiente de Variación (%)
Potasio (meq / 100 cc)	Parcela Experimental	0,3400	0,19352	56,92
	Parcela Testigo	0,3300	0,16688	50,57
Calcio (meq / 100 cc)	Parcela Experimental	3,9160	2,71704	69,38
	Parcela Testigo	6,5300	6,58488	100,84
Magnesio (meq / 100 cc)	Parcela Experimental	1,2300	0,84976	69,09
	Parcela Testigo	1,3460	1,16111	86,26
Sodio (meq / L)	Parcela Experimental	0,1320	0,05167	39,14
	Parcela Testigo	0,1580	0,07596	48,08
Aluminio (meq / 100 cc)	Parcela Experimental	1,5620	1,28850	82,49
	Parcela Testigo	1,5440	1,84191	119,29

C.I.C (meq / 100 g)	Parcela Experimental	13,4380	4,26079	31,71
	Parcela Testigo	12,8540	5,59570	43,53
Cloruros (meq / 100L)	Parcela Experimental	0,4960	0,06066	12,23
	Parcela Testigo	0,5200	0,09798	18,84
Fosforos ppm	Parcela Experimental	13,0000	18,23458	140,27
	Parcela Testigo	16,6000	18,21538	109,73
N - NH4 ppm	Parcela Experimental	21,0000	13,00000	61,90
	Parcela Testigo	13,6000	5,22494	38,42
N-NO3 ppm	Parcela Experimental	98,0000	76,94154	78,51
	Parcela Testigo	58,0000	22,80351	39,32
Azufre ppm	Parcela Experimental	8,4000	14,36315	170,99
	Parcela Testigo	3,2000	3,27109	102,22
Hierro ppm	Parcela Experimental	207,4000	130,64953	62,99
	Parcela Testigo	167,0000	54,12947	32,41
Manganeso (ppm)	Parcela Experimental	47,2000	42,46999	89,98
	Parcela Testigo	66,6000	61,60601	92,50
Cobre (ppm)	Parcela Experimental	0,1400	0,05477	39,12
	Parcela Testigo	0,1200	0,04472	37,27
Zinc (ppm)	Parcela Experimental	58,7200	118,13990	201,19
	Parcela Testigo	4,7800	1,80472	37,76
Boro (ppm)	Parcela Experimental	0,0960	0,03286	34,23
	Parcela Testigo	0,1460	0,06580	45,07
pH	Parcela Experimental	4,6880	0,33507	7,15
	Parcela Testigo	5,1260	1,15184	22,47
C.E. m.S/cm	Parcela Experimental	0,5720	0,30103	52,63
	Parcela Testigo	0,4480	0,11967	26,71
M. Orgánica %	Parcela Experimental	3,8920	0,95563	24,55
	Parcela Testigo	3,5200	0,87201	24,77
C.O. %	Parcela Experimental	2,2580	0,55242	24,47
	Parcela Testigo	2,0540	0,48957	23,83
Sat. % Bases %	Parcela Experimental	51,3020	55,56082	108,30
	Parcela Testigo	115,4240	178,26006	154,44
Densidad A. (g/cc)	Parcela Experimental	1,0860	0,08706	8,02
	Parcela Testigo	1,0840	0,16592	15,31

Fuente: Elaboración propia (2024)

Para los parámetros evaluados en el Modelo agroforestal 2, no se presentó diferencia ($P < 0,05$) después de su implementación (Tabla 46).

Tabla 46

Comparación entre parcelas experimentales y testigo para las variables agroquímicas del suelo para el Modelo 2 (Cedro-Aguacate- Maíz) de Arboledas

Variable agroquímica del suelo	Media Parcela Experimental	Media Parcela Testigo	Valor de t	Significación Bilateral
Potasio (meq / 100 cc)	0,3400	0,3300	0,088	0,932
Calcio (meq / 100 cc)	3,9160	6,5300	-0,821	0,436
Magnesio (meq / 100 cc)	1,2300	1,3460	-0,180	0,861
Sodio (meq / L)	0,1320	0,1580	-0,633	0,545
Aluminio (meq / 100 cc)	1,5620	1,5440	0,018	0,986
C.I.C (meq / 100 g)	13,4380	12,8540	0,186	0,857
Cloruros (meq / 100L)	0,4960	0,5200	-0,466	0,654
Fósforos ppm	13,0000	16,6000	-0,312	0,763
N - NH ₄ ppm	21,0000	13,6000	1,181	0,272
N-NO ₃ ppm	98,0000	58,0000	1,115	0,297
Azufre ppm	8,4000	3,2000	0,789	0,453
Hierro ppm	207,4000	167,0000	0,639	0,541
Manganeso (ppm)	47,2000	66,6000	-0,580	0,578
Cobre (ppm)	0,1400	0,1200	0,632	0,545
Zinc (ppm)	58,7200	4,7800	1,021	0,337
Boro (ppm)	0,0960	0,1460	-1,520	0,167
pH	4,6880	5,1260	-0,816	0,438
C.E. m.S/cm	0,5720	0,4480	0,856	0,417
M. Orgánica %	3,8920	3,5200	0,643	0,538
C.O. %	2,2580	2,0540	0,618	0,554
Sat. Bases %	51,3020	115,4240	-0,768	0,465
Densidad A. (g/cc)	1,0860	1,0840	0,024	0,982

Fuente: Elaboración propia (2024)

Para el Modelo agroforestal 3; 15 de los 22 parámetros analizados presentaron coeficiente de variación por encima del 60% después de la implementación

de los modelos. Los parámetros de Na, Cu, P, cloruros, pH, B y densidad aparente, estuvieron por debajo de este coeficiente (Tabla 47).

Tabla 47

Estadística descriptiva de variables para las 30 parcelas del Modelo 3 (Cedro-Aguacate- Frijol) del municipio de Arboledas

Estadísticos descriptivos					
	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Cv (%)
Potasio (meq / 100 cc)	0,11	0,71	0,3380	0,17536	51,88
Calcio (meq / 100 cc)	0,16	12,57	4,0850	4,47027	1094,31
Magnesio (meq / 100 cc)	0,15	3,11	1,3290	1,06841	803,92
Sodio (meq / L)	0,05	0,15	0,1000	0,03333	33,33
Aluminio (meq / 100 cc)	0,01	3,40	1,0440	1,20743	1156,54
C.I.C (meq / 100 g)	5,22	22,44	12,5430	6,15640	490,82
Cloruros (meq / 100L)	0,40	0,68	0,5520	0,09762	17,68
Fósforos ppm	3,00	38,00	12,1000	12,87072	1063,70
N - NH4 ppm	11,00	26,00	15,5000	4,42844	285,71
N-NO3 ppm	5,00	80,00	37,5000	26,79656	714,57
Azufre ppm	1,00	14,00	4,4000	4,42719	1006,18
Hierro ppm	77,00	742,00	245,5000	219,58408	894,44
Manganeso (ppm)	1,00	264,00	64,0000	96,36620	1505,72
Cobre (ppm)	0,10	0,20	0,1200	0,04216	35,13
Zinc (ppm)	2,20	7,70	4,0700	1,83548	450,98
Boro (ppm)	0,07	0,24	0,1160	0,06552	56,48
pH	4,29	6,74	5,3990	0,78628	1,46
C.E. m.S/cm	0,05	0,65	0,3050	0,22132	72,56
M. Orgánica %	2,21	13,45	5,6320	4,13629	734,43
C.O. %	1,26	7,80	3,2510	2,41165	741,82
Sat. % Bases %	6,42	305,25	84,2460	106,02864	1258,56
Densidad A. (g/cc)	0,69	1,33	0,9870	0,22211	22,50

Fuente: Elaboración propia (2024)

Los parámetros de Cu, Na, cloruros, densidad aparente y pH en la parcela agroecológica y B en la parcela testigo presentación variabilidad inferior al 60% (Tabla 48).

Tabla 48

Estadística descriptiva de variables del suelo para el Modelo 3 (Cedro-Aguacate-Frijol) del municipio de Arboledas

	Tratamiento	Media	Desviación típ.	Coefficiente de Variación (%)
Potasio (meq / 100 cc)	Parcela Experimental	0,3140	0,13145	41,86
	Parcela Testigo	0,3620	0,22466	62,06
Calcio (meq / 100 cc)	Parcela Experimental	4,0960	4,02376	982,36
	Parcela Testigo	4,0740	5,36390	1316,62
Calcio (meq / 100 cc)	Parcela Experimental	1,2880	1,06086	823,65
	Parcela Testigo	1,3700	1,19948	875,53
Sodio (meq / L)	Parcela Experimental	0,1040	0,03715	35,72
	Parcela Testigo	0,0960	0,03286	34,23
Aluminio (meq / 100 cc)	Parcela Experimental	0,7840	1,04126	13281,38
	Parcela Testigo	1,3040	1,42374	1091,83
C.I.C (meq / 100 g)	Parcela Experimental	11,9140	6,76266	567,62
	Parcela Testigo	13,1720	6,20927	471,40
Cloruros (meq / 100L)	Parcela Experimental	0,5280	0,10354	19,61
	Parcela Testigo	0,5760	0,09633	16,72
Fósforos ppm	Parcela Experimental	12,0000	14,74788	1228,99
	Parcela Testigo	12,2000	12,45793	1021,14
Fósforos ppm	Parcela Experimental	15,0000	2,82843	188,56
	Parcela Testigo	16,0000	5,95819	372,39
N-NO3 ppm	Parcela Experimental	40,0000	28,28427	707,11
	Parcela Testigo	35,0000	28,28427	808,12
Azufre ppm	Parcela Experimental	3,6000	3,13050	869,58
	Parcela Testigo	5,2000	5,71839	1099,69
Azufre ppm	Parcela Experimental	217,2000	180,40427	830,59
	Parcela Testigo	273,8000	271,92039	993,14
Manganeso (ppm)	Parcela Experimental	58,4000	92,53000	1584,42
	Parcela Testigo	69,6000	110,69914	1590,50

Cobre (ppm)	Parcela Experimental	0,1400	0,05477	39,12
	Parcela Testigo	0,1000	0,00000	0,00
Zinc (ppm)	Parcela Experimental	4,1400	2,11258	510,29
	Parcela Testigo	4,0000	1,76210	440,53
Boro (ppm)	Parcela Experimental	0,1180	0,07463	63,25
	Parcela Testigo	0,1140	0,06387	56,03
pH	Parcela Experimental	5,4820	0,88305	1,61
	Parcela Testigo	5,3160	0,77073	1,45
C.E. m.S/cm	Parcela Experimental	0,3260	0,23818	73,06
	Parcela Testigo	0,2840	0,22887	80,59
M. Orgánica %	Parcela Experimental	5,3300	4,06724	763,08
	Parcela Testigo	5,9340	4,66095	785,47
C.O. %	Parcela Experimental	3,0880	2,36321	765,29
	Parcela Testigo	3,4140	2,72672	798,69
Sat. Bases %	Parcela Experimental	81,3660	92,60880	1138,18
	Parcela Testigo	87,1260	129,21895	1483,13
Densidad A. (g/cc)	Parcela Experimental	0,9440	0,21244	22,50
	Parcela Testigo	1,0300	0,24749	2,40

Fuente: Elaboración propia (2024)

En los parámetros analizados en el Modelo agroecológico 3, no se evidenció diferencia después de su establecimiento en ambos tipos de parcela (Tabla 49).

Tabla 49

Comparación entre parcelas experimentales y testigo para las variables agroquímicas del suelo para el Modelo 3 (Cedro-Aguacate- Frijol) de Arboledas

Variable agroquímica del suelo	Media Parcela Experimental	Media Parcela Testigo	Valor de t	Significación Bilateral
Potasio (meq / 100 cc)	0,3140	0,3620	-0,412	0,691
Calcio (meq / 100 cc)	4,0960	4,0740	0,007	0,994
Magnesio (meq / 100 cc)	1,2880	1,3700	-0,115	0,912
Sodio (meq / L)	0,1040	0,0960	0,361	0,728

Aluminio (meq / 100 cc)	0,7840	1,3040	-0,659	0,528
C.I.C (meq / 100 g)	11,9140	13,1720	-0,306	0,767
Cloruros (meq / 100L)	0,5280	0,5760	-0,759	0,470
Fósforos ppm	12,0000	12,2000	-0,023	0,982
N - NH4 ppm	15,0000	16,0000	-0,339	0,743
N-NO3 ppm	40,0000	35,0000	0,280	0,787
Azufre ppm	3,6000	5,2000	-0,549	0,598
Hierro ppm	217,2000	273,8000	-0,388	0,708
Manganeso (ppm)	58,4000	69,6000	-0,174	0,867
Cobre (ppm)	0,1400	0,1000	1,633	0,141
Zinc (ppm)	4,1400	4,0000	0,114	0,912
Boro (ppm)	0,1180	0,1140	0,091	0,930
pH	5,4820	5,3160	0,317	0,760
C.E. m.S/cm	0,3260	0,2840	0,284	0,783
M. Orgánica %	5,3300	5,9340	-0,218	0,833
C.O. %	3,0880	3,4140	-0,202	0,845
Sat. Bases %	81,3660	87,1260	-0,081	0,937
Densidad A. (g/cc)	0,9440	1,0300	-0,590	0,572

Fuente: Elaboración propia (2024)

Comparación de variables agroquímicas del suelo

La concentración de N-NH₄ aumentó y la de Cu disminuyó con la implementación de los cultivos en la parcela agroecológica del modelo 1 (Tabla 52). La aplicación de productos como DAP, humus, triple 15, Kelatex Mg – Mn favorecieron la asimilación de estos nutrientes conllevando a modificaciones en la estructura físico química del suelo. En la parcela agroecológica del Modelo 1, se evidenció incremento del nivel de K, N, S, Mn, Zn y B luego del establecimiento de los cultivos y de la aplicación de estos productos. Para los elementos Ca, Mg, Na, Al, CIC, fosforo, cloruros, N-NO₃, Fe, Cu, MO y Co, se evidenció disminución de su concentración después del establecimiento de los cultivos y aplicación de los productos, probablemente, por el uso de éstos para el crecimiento y desarrollo del material vegetal (Tabla 50).

Tabla 50

Comparación suelo antes y después parcela agroforestal del Modelo 1 (Cedro-Limón-Maíz)

	Media antes	Media después	Valor de t	Sig. Bilateral
Potasio (meq / 100 cc)	0,2940	0,3580	-0,486	0,640
Calcio (meq / 100 cc)	2,7960	1,9340	0,547	0,600
Magnesio (meq / 100 cc)	0,9380	0,9100	0,062	0,952
Sodio (meq / L)	0,1280	0,1140	0,363	0,726
Aluminio (meq / 100 cc)	1,4620	1,3220	0,251	0,808
C.I.C (meq / 100 g)	14,6000	13,1340	0,278	0,788
Cloruros (meq / 100L)	0,6240	,5440	1,571	0,155
Fósforo ppm	1,6000	5,8000	-1,458	0,183
N - NH4 ppm	4,8000	12,2000	-3,458	0,009
N-NO3 ppm	11,0000	9,0000	0,426	0,681
Azufre ppm	1,6000	2,0000	-0,784	0,455
Hierro ppm	141,2000	116,2000	0,657	0,529
Manganeso (ppm)	32,4000	34,0000	-0,062	0,952
Cobre (ppm)	0,2400	0,1200	3,795	0,005
Zinc (ppm)	1,9000	2,9400	-1,556	0,158
Boro (ppm)	0,1200	0,1480	-0,482	0,643
pH	4,9400	5,0580	-0,400	0,700
C.E. m.S/cm	0,1120	0,1240	-0,271	0,793
M. Orgánica %	5,9260	3,4460	1,774	0,114
C.O. %	3,3500	2,0000	1,619	0,144
Sat. % Bases %	35,8200	28,7880	0,301	0,771
Densidad A. (g/cc)	1,0820	1,0440	0,308	0,766

Fuente: Elaboración propia (2024)

Para la parcela testigo del Modelo agroecológico 1; se evidenció cambio en la concentración de cloruros, pasando de 0,68 ppm a 0,49 ppm e incremento de N – NH4 pasando de 6 ppm a 11 ppm después del establecimiento de los cultivos. La aplicación de los productos anteriormente mencionados, incrementó los niveles de P y NH4, Mg, Zn, MO. Para K, Ca, Mg, Na, ClC, cloruros, S, N-NO3, Fe, Cu, B CO se evidenció disminución, posiblemente

debido al uso de estos elementos por parte del material vegetal para su crecimiento y desarrollo (Tabla 51).

Tabla 51

Comparación suelo antes y después Parcela Testigo del Modelo 1 (Cedro- Limón- Maíz)

	Media antes	Media después	Valor de t	Sig. Bilateral
Potasio (meq / 100 cc)	0,3960	0,2640	0,559	0,592
Calcio (meq / 100 cc)	3,0500	1,5960	0,814	0,439
Magnesio (meq / 100 cc)	0,8860	0,8040	0,186	0,857
Sodio (meq / L)	0,1580	0,0920	2,266	0,053
Aluminio (meq / 100 cc)	2,2420	2,2420	0,000	1,000
C.I.C (meq / 100 g)	15,0000	9,8040	1,129	,291
Cloruros (meq / 100L)	0,6800	0,4960	2,994	0,017
Fósforos ppm	3,0000	3,4000	-0,302	0,771
N - NH4 ppm	6,0000	11,0000	-3,101	0,015
N-NO3 ppm	19,0000	18,0000	0,093	0,928
Azufre ppm	4,0000	1,4000	1,031	0,333
Hierro ppm	197,6000	159,2000	0,845	0,423
Manganeso (ppm)	31,0000	39,8000	-0,374	0,718
Cobre (ppm)	0,2400	0,1200	2,191	0,060
Zinc (ppm)	2,5800	2,6600	-0,128	0,901
Boro (ppm)	0,1280	0,1240	0,110	0,915
pH	5,0940	4,8660	0,562	0,590
C.E. m.S/cm	0,2080	0,1500	0,672	0,520
M. Orgánica %	0,1500	5,8560	0,672	0,522
C.O. %	5,8560	2,7300	2,007	0,080
Sat. % Bases %	3,3940	1,6080	1,968	,085
Densidad A. (g/cc)	28,3800	26,6820	0,087	0,933
Potasio (meq / 100 cc)	1,1000	1,1100	-0,086	0,934

Fuente: Elaboración propia (2024)

En la parcela agroforestal del Modelo 2, disminuyó la concentración de Cu y cloruros con el establecimiento de los cultivos. La aplicación de los productos

incrementó la concentración de K, Al, P, NH₄, NO₃, S, Fe y Zn en la parcela agroecológica. Las variables de Ca, Mg, Na, CIC, cloruros, Mn, Cu, B, MO, CO y saturación de bases reportaron disminución en su concentración tras el establecimiento de los cultivos y la aplicación de los productos (Tabla 52).

Tabla 52

Comparación suelo antes y después Parcela Agroforestal del Modelo 2 (Cedro-Aguacate-Maíz)

	Media antes	Media después	Valor de t	Sig. Bilateral
Potasio (meq / 100 cc)	0,2340	0,3400	-0,977	0,357
Calcio (meq / 100 cc)	7,9000	3,9160	0,995	0,349
Magnesio (meq / 100 cc)	1,3600	1,2300	0,195	0,850
Sodio (meq / L)	0,1920	0,1320	1,353	0,213
Aluminio (meq / 100 cc)	1,3420	1,5620	-0,242	0,815
C.I.C (meq / 100 g)	17,4000	13,4380	1,144	0,286
Cloruros (meq / 100L)	0,6880	0,4960	2,495	0,037
Fósforos ppm	8,2000	13,0000	-0,479	0,645
N - NH ₄ ppm	7,4000	21,0000	-2,207	0,058
N-NO ₃ ppm	34,0000	98,0000	-1,724	0,123
Azufre ppm	5,0000	8,4000	-0,480	0,644
Hierro ppm	143,8000	207,4000	-1,070	0,316
Manganeso (ppm)	52,6000	47,2000	0,195	0,850
Cobre (ppm)	0,4000	0,1400	6,500	0,000
Zinc (ppm)	2,7800	58,7200	-1,059	0,321
Boro (ppm)	0,1420	0,0960	1,406	0,197
pH	5,2780	4,6880	1,389	0,202
C.E. m.S/cm	0,3120	0,5720	-1,727	0,122
M. Orgánica %	7,1240	3,8920	1,542	0,162
C.O. %	4,1320	2,2580	1,541	0,162
Sat. % Bases %	64,8920	51,3020	0,379	0,714
Densidad A. (g/cc)	1,0440	1,0860	-0,525	0,614

Fuente: Elaboración propia (2024)

En la parcela testigo del Modelo agroforestal 2, se presentó comportamiento diferente ($p < 0,05$) para las variables de N - NH_4 y cobre al realizar la comparación antes y después del establecimiento de los cultivos. En el primer caso aumentó la concentración y en el segundo disminuyó. El establecimiento de los cultivos y la aplicación de los productos incrementó el nivel de K, Al, NO_3 , Fe, Mn, Zn, B y saturación de bases. En contraste, las concentraciones de Ca, Mg, Na, CIC, cloruros, P, S, Cu, MO y Co disminuyeron (Tabla 53).

Tabla 53

Comparación suelo antes y después Parcela Testigo del Modelo 2 (Cedro-Aguacate-Maíz)

	Media antes	Media después	Valor de t	Sig. bilateral
Potasio (meq / 100 cc)	0,1500	0,3300	-2,209	0,058
Calcio (meq / 100 cc)	8,4100	6,5300	0,424	0,683
Magnesio (meq / 100 cc)	1,6160	1,3460	0,253	0,807
Sodio (meq / L)	0,1660	0,1580	0,184	0,859
Aluminio (meq / 100 cc)	0,8280	1,5440	-0,664	0,525
C.I.C (meq / 100 g)	18,6000	12,8540	1,431	0,190
Cloruros (meq / 100L)	0,6480	0,5200	1,899	0,094
Fósforos ppm	21,2000	16,6000	0,272	0,792
N - NH_4 ppm	5,6000	13,6000	-2,998	0,017
N- NO_3 ppm	46,0000	58,0000	-0,717	0,494
Azufre ppm	5,2000	3,2000	0,636	0,542
Hierro ppm	151,8000	167,0000	-0,549	0,598
Manganeso (ppm)	48,4000	66,6000	-0,501	0,630
Cobre (ppm)	0,3200	0,1200	4,714	0,002
Zinc (ppm)	2,9200	4,7800	-1,828	0,105
Boro (ppm)	0,1360	0,1460	-0,259	0,802
pH	4,9800	5,1260	-0,250	0,809
C.E. m.S/cm	0,3560	0,4480	-1,082	0,311
M. Orgánica %	6,6220	3,5200	1,722	0,123
C.O. %	3,8760	2,0540	1,772	0,114
Sat. % Bases %	83,9980	115,4240	-0,358	0,729
Densidad A. (g/cc)	1,0680	1,0840	-0,184	0,859

Fuente: Elaboración propia (2024)

En la parcela agroforestal del Modelo 3, al comparar la media de las concentraciones de los elementos CIC, cloruros, N-NH₄ y Cu antes y después del establecimiento de los cultivos se evidenció diferencia estadística ($P < 0,05$). Para los demás parámetros se presentó comportamiento similar. La aplicación de los productos incrementó la concentración de K, Ca, Mg, P, N-NH₄, NO₃, S, Fe, Mn, Zn y saturación de bases. Caso contrario, para los elementos Na, Al, CIC, cloruros, Cu, B, MO y CO que disminuyeron su concentración tras el establecimiento de los cultivos y la aplicación de los productos (Tabla 54).

Tabla 54

Comparación suelo antes y después Parcela Agroforestal del Modelo 3 (Cedro-Limón-Maíz)

	Media antes	Media después	Valor de t	Sig. Bilateral
Potasio (meq / 100 cc)	0,2500	0,3140	-0,703	0,502
Calcio (meq / 100 cc)	2,2680	4,0960	-0,822	0,435
Magnesio (meq / 100 cc)	0,5520	1,2880	-1,429	0,191
Sodio (meq / L)	0,1260	0,1040	0,469	0,652
Aluminio (meq / 100 cc)	1,7620	0,7840	1,382	0,204
C.I.C (meq / 100 g)	20,4000	11,9140	2,326	0,048
Cloruros (meq / 100L)	0,6800	0,5280	2,539	0,035
Fosforos ppm	1,8000	12,0000	-1,544	0,161
N - NH ₄ ppm	5,6000	15,0000	-6,714	0,000
N-NO ₃ ppm	13,0000	40,0000	-1,977	0,083
Azufre ppm	3,0000	3,6000	-0,343	0,740
Hierro ppm	159,8000	217,2000	-0,609	0,559
Manganeso (ppm)	34,8000	58,4000	-0,476	0,647
Cobre (ppm)	0,2600	0,1400	2,558	0,034
Zinc (ppm)	1,8000	4,1400	-2,227	0,057
Boro (ppm)	0,1260	0,1180	0,224	0,829
pH	4,9700	5,4820	-1,112	0,299
C.E. m.S/cm	0,1420	0,3260	-1,640	0,140
M. Orgánica %	8,2940	5,3300	1,181	0,271
C.O. %	4,8060	3,0880	1,181	0,271

Sat. % Bases %	18,5860	81,3660	-1,465	0,181
Densidad A. (g/cc)	0,9180	0,9440	-0,212	0,838

Fuente: Elaboración propia (2024)

En la parcela testigo del Modelo agroforestal 3; se presentó comportamiento diferente ($P < 0,05$) en las concentraciones de Cu (disminución), Zn y N-NH₄ (incremento) al realizar la comparación de sus medias antes y después del establecimiento del material vegetal. La concentración de K, Ca, Mg, Al, P, N-NH₄, NO₃, S, Fe, Mn, Zn y saturación de bases se incrementó tras la aplicación de los productos y establecimiento de los cultivos. Caso contrario para los elementos, Na, CIC, cloruros, Cu, B, MO y CO que disminuyeron su concentración (Tabla 55).

Tabla 55

Comparación suelo antes y después Parcela Testigo del Modelo 3 (Cedro-Limón-Maíz)

	Media antes	Media después	Valor de t	Sig. Bilateral
Potasio (meq / 100 cc)	0,2260	0,3620	-0,993	0,350
Calcio (meq / 100 cc)	3,4000	4,0740	-0,232	0,822
Magnesio (meq / 100 cc)	0,7860	1,3700	-0,965	0,363
Sodio (meq / L)	0,1260	0,0960	0,659	0,528
Aluminio (meq / 100 cc)	1,1240	1,3040	-0,219	0,832
C.I.C (meq / 100 g)	17,4000	13,1720	1,009	0,343
Cloruros (meq / 100L)	0,6440	,5760	1,196	0,266
Fósforos ppm	2,6000	12,2000	-1,656	0,136
N - NH ₄ ppm	5,4000	16,0000	-3,757	0,006
N-NO ₃ ppm	11,0000	35,0000	-1,822	0,106
Azufre ppm	2,8000	5,2000	-0,866	0,412
Hierro ppm	171,4000	273,8000	-0,725	0,489
Manganeso (ppm)	21,2000	69,6000	-0,951	0,369
Cobre (ppm)	0,2800	0,1000	4,811	0,001
Zinc (ppm)	1,5600	4,0000	-2,684	0,028
Boro (ppm)	0,1420	0,1140	0,908	0,390
pH	5,2260	5,3160	-0,209	0,840

C.E. m.S/cm	0,2200	0,2840	-0,500	0,631
M. Orgánica %	8,1620	5,9340	0,778	0,459
C.O. %	4,7340	3,4140	0,792	0,451
Sat. % Bases %	34,9840	87,1260	-0,871	0,409
Densidad A. (g/cc)	,9640	1,0300	-0,525	0,614

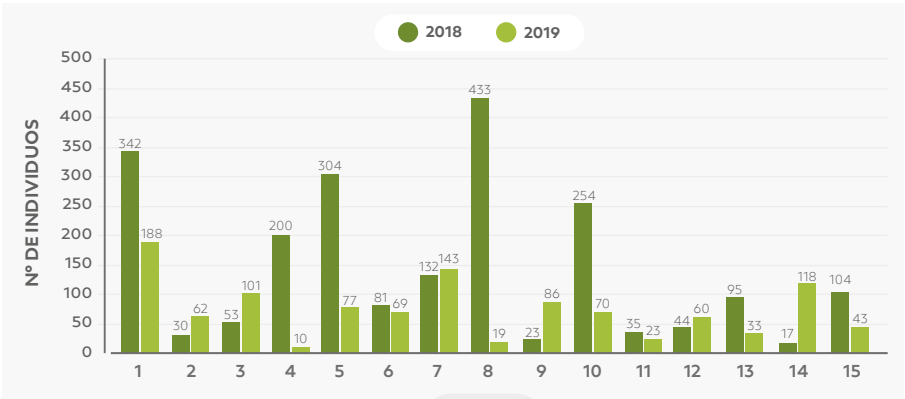
Fuente: Elaboración propia (2024)

3.10.3 Efecto de los sistemas agroforestales sobre las variables biológicas del suelo

Macrofauna

En relación a la abundancia se identificaron en total 3.249 individuos; 1.102 después del establecimiento de los sistemas agroforestales y 2.147 antes de este establecimiento. Se presentó un valor medio por finca de 73,47 individuos, con una desviación estándar de 133,44 y 48,78 para antes y después del establecimiento respectivamente. Se destaca la finca 2 con 342 individuos (Figura 35).

Figura 35
Abundancia en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas



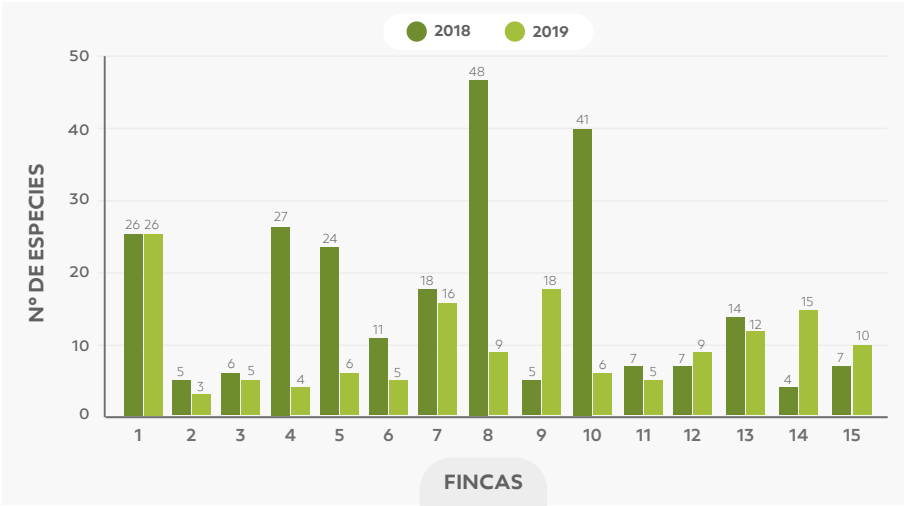
Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Lirio, 3: Finca La Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despeñada, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

La especie *solenopsis* sp1 fue la más abundante antes de la implementación de los cultivos con el 5,45% (117 individuos), mientras que luego del establecimiento, la especie predominante fue *termitermes* sp1 con el 12,98% (143 individuos).

Riqueza y diversidad

En relación a la Riqueza Específica, se identificaron 240 especies con una media de 16,67 y desviación estándar de 13,85 antes de la implementación de los modelos. La media después del establecimiento de los cultivos fue de 9,93 con desviación estándar de 6,43. Antes del establecimiento, la finca 14 presentó el menor número de especies identificadas con 4, mientras que la finca 8 presentó el mayor número con 48. Al finalizar el proyecto, la finca con el menor número fue la 2 con 3 especies y el de mayor número la finca 1 con 26 especies (Figura 36).

Figura 36
Riqueza Específica en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.



Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

Al realizar el análisis global del municipio, se obtuvo un índice de diversidad de Margalef de 20,334, de equidad de Shannon – Wiener de 4,29 y de dominancia de Simpson de 0,022 presentando alta diversidad y baja dominancia antes de la implementación de los sistemas agroforestales. Posterior a la implementación, se obtuvo 11,99, 3,67 y 0,042 para diversidad de Margalef, equidad de Shannon y dominancia de Simpson, respectivamente. Los resultados generales son presentados en la Tabla 56.

Tabla 56
Biodiversidad global para el municipio de Arboledas

Índices de Biodiversidad Global, municipio de Arboledas, Norte de Santander		
	2018	2019
Abundancia (N)	2147	1102
Equidad de Shannon-Wiener (H')	4.29	3.67
Riqueza Específica (S)	156	84
Diversidad de Especies de Margalef (D _{MR})	20.334	11.99
Dominancia (Simpson)	0.022	0.042

Fuente: Elaboración propia (2024)

Al comparar estos índices en el Modelo 1 (Cedro – Limón – Maíz) antes y después del establecimiento de los cultivos, se evidencia disminución en abundancia, riqueza específica, Margalef y equidad de Shannon – Wiener; mientras que la dominancia no sufrió variación. Para el Modelo 2 (Cedro – Aguacate – Maíz) la dominancia se mantuvo, disminuyendo los demás índices. Finalmente, para el Modelo 3 (Cedro – Aguacate – Frijol) la abundancia y equidad disminuyeron, Riqueza Específica y Margalef se incrementaron y la dominancia se mantuvo constante (Tabla 57).

Tabla 57
Biodiversidad global de la macrofauna edáfica por modelo agroforestal en el municipio de Arboledas

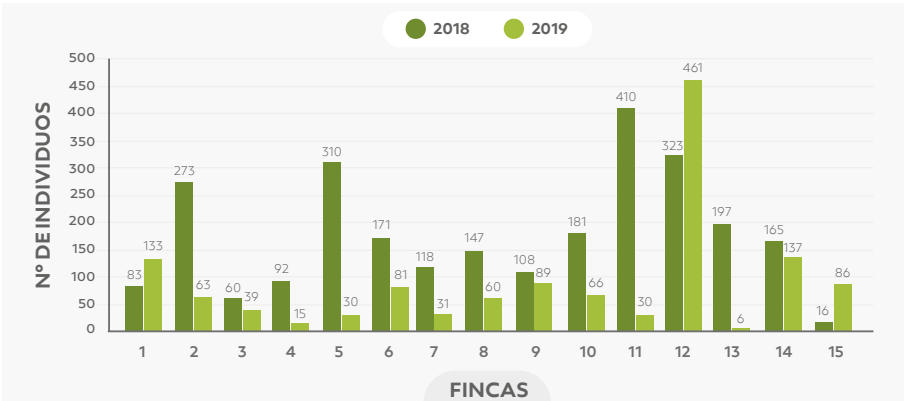
Macrofauna	Modelo 1 (CE-L-M)		Modelo 2 (CE-A-M)		Modelo 3 (CE-A-F)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Abundancia (N)	185,8	87,6	184,6	77,4	59	55,4
Riqueza específica (S)	17,6	8,8	24,6	10,8	7,8	10,2
Diversidad de especies de Margalef (D_{Mg})	3,13	1,71	4,39	2,33	1,69	2,34
Equidad de Shannon-Wiener (H')	2,29	0,73	2,56	0,26	1,57	0,20
Dominancia (Simpson)	0,14	0,14	0,12	0,12	0,27	0,27

Fuente: Elaboración propia (2024)

Mesofauna

En relación a la abundancia se identificaron en total 3.981 individuos, 1.257 después del establecimiento de los sistemas agroforestales y 2.724 antes de este establecimiento. Se presentó un valor medio por finca de 181,60 y 83,80 individuos antes y después del establecimiento de los cultivos con una desviación estándar de 103,49 y 111,75 para antes y después del establecimiento, respectivamente (Figura 37).

Figura 37
 Abundancia en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas



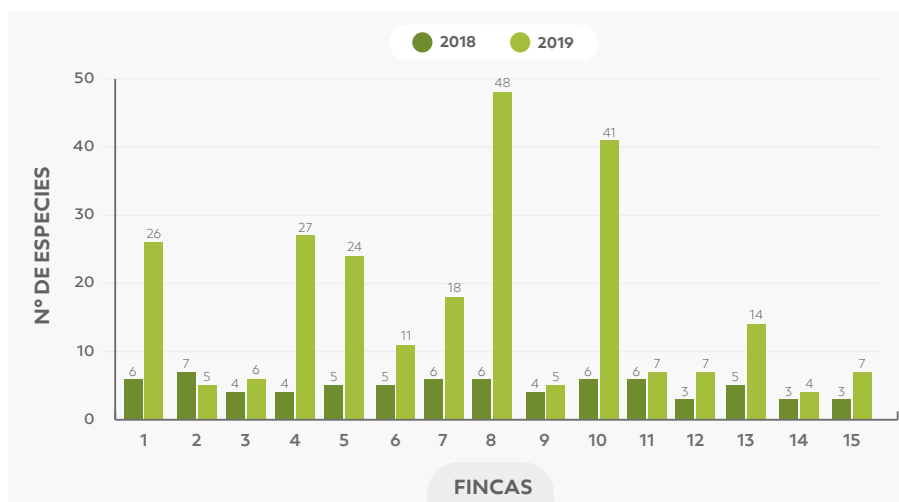
Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despena, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

Riqueza y diversidad

En relación a la Riqueza Específica se identificaron 26 especies con una media de 4,87 y desviación estándar de 1,30 antes de la implementación de los modelos. La media después del establecimiento de los cultivos fue de 16,67 con desviación estándar de 13,85. Antes del establecimiento, las fincas 12, 14 y 15 presentaron el menor número de especies identificadas con 3; mientras que la finca 2 presentó el mayor número con 7. Al finalizar el proyecto la finca con el menor número fue el 14 con 4 especies y el de mayor número la finca 8 con 41 especies (Figura 38).

Figura 38

Riqueza Específica en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas.



Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

Al realizar el análisis global del municipio, se obtuvo un índice de diversidad de Margalef de 3,54, de equidad de Shannon – Wiener de 2,05 y de dominancia de Simpson de 0,22 presentando diversidad moderada y alta dominancia antes de la implementación de los sistemas agroforestales. Posterior a la implementación, se obtuvo 2,52, 1,96 y 0,21 para diversidad de

Margalef, equidad de Shannon y dominancia de Simpson, respectivamente. Los resultados generales son presentados en la Tabla 58.

Tabla 58
Índices de Biodiversidad Global para el municipio de Arboledas

Índices de Biodiversidad Global, municipio de Arboledas, Norte de Santander		
	2018	2019
Abundancia (N)	2724	1257
Equidad de Shannon-Wiener (H')	2.05	1.96
Riqueza Específica (S)	28	18
Diversidad de especies de Margalef (D _{Mg})	3.54	2.52
Dominancia (Simpson)	0.22	0.21

Fuente: Elaboración propia (2024)

Al realizar la comparación de estos índices en el Modelo 1 (Cedro – Limón – Maíz) antes y después del establecimiento de los cultivos, se evidencia disminución en abundancia y equidad de Shannon – Wiener, mientras que la Riqueza Específica, Margalef y dominancia se incrementaron con el establecimiento de los cultivos. Para el Modelo 2 (Cedro – Aguacate – Maíz) se presentó reducción en la abundancia y equidad de Shannon-Wiener; la Riqueza Específica, Margalef y la dominancia aumentaron luego de establecidas las parcelas. En el Modelo 3 (Cedro-Aguacate-Frijol), la abundancia, equidad de Shannon-Wiener y dominancia disminuyeron, mientras que la Riqueza Específica y Margalef aumentaron luego de establecidas las parcelas (Tabla 59).

Tabla 59
Biodiversidad global de mesofauna edáfica por modelo agroforestal en el municipio de Arboledas

Mesofauna	Modelo 1 (CE-L-M)		Modelo 2 (CE-A-M)		Modelo 3 (CE-A-F)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Abundancia (N)	163.6	56	145	64.4	236.2	130
Riqueza Específica (S)	5.2	17.6	5.4	24.6	4	7.8

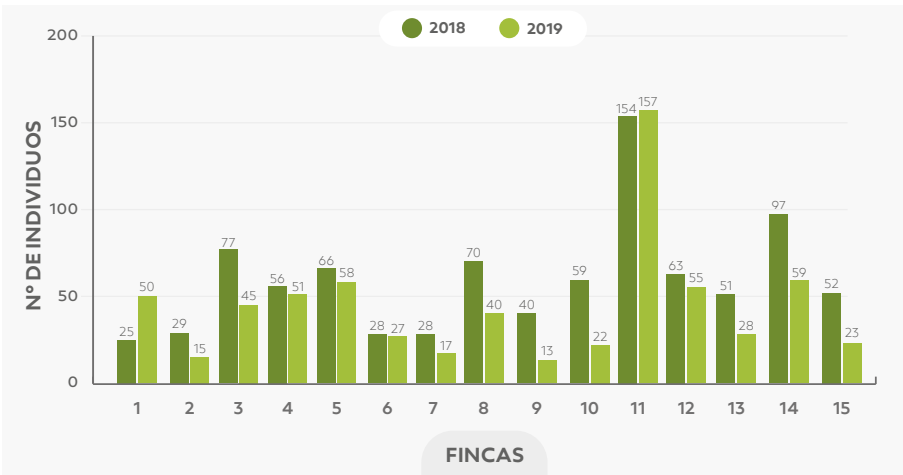
Diversidad de especies de Margalef (D_{Mg})	0.85	4.76	0.88	5.82	0.55	2.55
Equidad de Shannon-Wiener (H')	1.44	0.35	1.31	0.24	0.77	0.12
Dominancia (Simpson)	0.27	0.58	0.32	0.6	0.58	0.57

Fuente: Elaboración propia (2024)

Microfauna

En relación a la abundancia se identificaron en total 1555 individuos, 660 después del establecimiento de los sistemas agroforestales y 895 antes de este establecimiento. Se presentó un valor medio por finca de 59,67 y 44 individuos antes y después del establecimiento de los cultivos con una desviación estándar de 33,20 y 35,26 para antes y después del establecimiento, respectivamente (Figura 39).

Figura 39
Abundancia en las 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas



Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

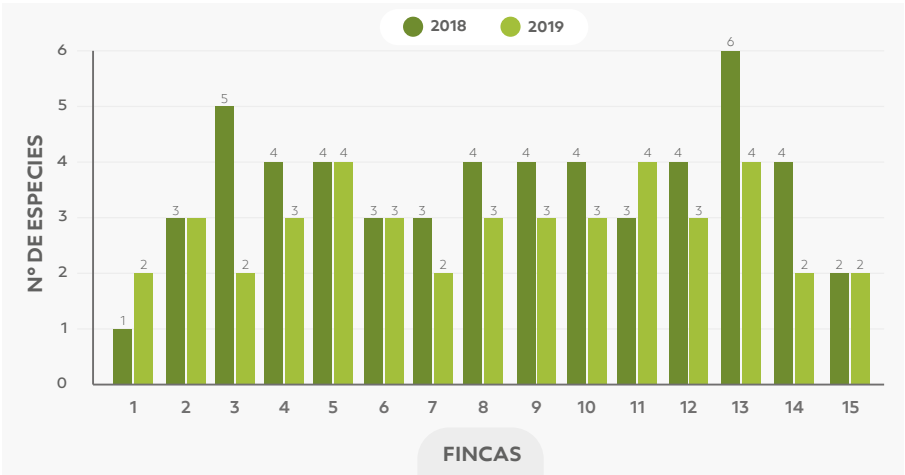
La especie predominante fue nemátodo, familia *anguinidae* con el 42,90% (384 individuos), mientras que la especie *protozao* con el 42,87% (283

individuos), fue la más representativa luego del establecimiento de los cultivos.

Riqueza y diversidad

En relación a la Riqueza Específica se identificaron 22 especies con una media de 3,60 y desviación estándar de 1,18, antes de la implementación de los modelos. La media después del establecimiento de los cultivos fue de 2,87 con desviación estándar de 0,74. Antes del establecimiento la finca 1 presentó el menor número de especies identificadas con 1, mientras que la finca 13 presentó el mayor número con 6. Al finalizar el proyecto, las fincas con el menor número fueron 1, 3, 7, 14 y 15 con 2 especies y los de mayor número 5, 11, 13 con 4 especies (Figura 40).

Figura 40
Riqueza Específica en 15 fincas en transición hacia la producción agroecológica del municipio de Arboledas



Nota. 1: Finca La Providencia, 2: Finca El Llano, 3: Finca Sabaneta, 4: Finca San Antonio, 5: Finca El Hoyo, 6: Finca Las Brisas, 7: Finca Despensa, 8: Finca La Florida, 9: Finca Villa Teresa, 10: Finca Nuevo Reino, 11: Finca Vega Larga 12: Finca El Olivo, 13: Finca La Esplayada, 14: Finca La Palma, 15: Finca La Cruz. Fuente: Elaboración propia (2024)

Al realizar el análisis global del municipio, se obtuvo un índice de diversidad de Margalef de 2,07, de equidad de Shannon – Wiener de 1,33 y de dominancia de Simpson de 0,30 presentando diversidad baja y alta

dominancia antes de la implementación de los sistemas agroforestales. Luego de la implementación se obtuvo 1,54, 1,52 y 0,279 para diversidad de Margalef, equidad de Shannon y dominancia de Simpson, respectivamente. Los resultados generales son presentados en la Tabla 60.

Tabla 60
Biodiversidad global para el municipio de Arboledas

	2018	2019
Abundancia (N)	895	660
Equidad de Shannon-Wiener (H')	1.33	1.52
Riqueza Específica (S)	12	10
Diversidad de especies de Margalef (D _{Mg})	2.07	1.54
Dominancia (Simpson)	0.30	0.279

Fuente: Elaboración propia (2024)

Al realizar la comparación de los índices de biodiversidad del Modelo 1 (Cedro-Limón-Maíz), el Modelo 2 (Cedro-Aguacate-Maíz) y el Modelo 3 (Cedro-Aguacate-Frijol), se puede apreciar una disminución en todos los índices luego de establecidas las parcelas (Tabla 61).

Tabla 61
Biodiversidad global de microfauna edáfica por modelo agroforestal en el municipio de Arboledas

Microfauna	Modelo 1 (CE-L-M)		Modelo 2 (CE-A-M)		Modelo 3 (CE-A-F)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Abundancia (N)	50.6	43.8	45	23.8	83.4	64.4
Riqueza Específica (S)	3.4	2.8	3.6	2.8	3.8	3
2.34 Diversidad de especies de Margalef (D _{Mg})	0.59	0.5	0.69	0.58	0.66	0.51
Equidad de Shannon-Wiener (H')	0.82	0.45	1.02	0.20	0.85	0.14
Dominancia (Simpson)	0.54	0.14	0.41	0.12	0.52	0.27

Fuente: Elaboración propia (2024)

3.10.4 Sistemas agroforestales implementados por parcelas, modelos y fincas

En la siguiente tabla se detallan las prácticas agroecológicas que se desarrollaron antes, durante y después del establecimiento de los sistemas agroforestales.

Tabla 62

Prácticas agroecológicas implementadas en los modelos agroforestales antes, durante y después de establecidos los cultivos

Tiempo	Parcela Testigo	Total	Parcela Agroecológica	Total
Antes	Alternativas agroecológicas durante el trazado de parcelas y acondicionamiento: Laboreo mínimo	2	Alternativas agroecológicas durante el trazado de parcelas y acondicionamiento: Laboreo mínimo	2
Durante	Alternativas agroecológicas durante la siembra o plantación de cada parcela: Aplicación de enmiendas, roca fosfórica y cal dolomítica	2	Alternativas agroecológicas durante la siembra o plantación de cada parcela: Aplicación de enmiendas, roca fosfórica y cal dolomítica	2
	Abonos orgánicos, humus	2	Abonos orgánicos, humus	2
	Aplicación de biofertilizantes, micorrizas	1	Aplicación de biofertilizantes, micorrizas	1
	Fertilizantes quelatados	4	Fertilizantes quelatados	4
	Biopesticidas como entomopatógenos y antagonistas	1	Biopesticidas como entomopatógenos y antagonistas	1
	Alternativas agroecológicas durante el desarrollo de los cultivos: Mínima labranza o cero	1	Alternativas agroecológicas durante el desarrollo de los cultivos: Mínima labranza o cero	1
Después	Medidas de cosecha, conservación y uso eficiente del agua: Cosecha de agua lluvia	2	Medidas de cosecha, conservación y uso eficiente del agua: Cosecha de agua lluvia	2
	Alternativas para la nutrición de plantas con	3	Alternativas para la nutrición de plantas con	3

	la producción de abonos orgánicos y empleo de biofertilizantes: Fertilizantes quelatados		la producción de abonos orgánicos y empleo de biofertilizantes: Fertilizantes quelatados	
	Aplicación de productos biológicos u orgánicos para el control de plagas	1	Aplicación de productos biológicos u orgánicos para el control de plagas	1
Total		19		19

Fuente: Elaboración propia (2024)

3.10.5 Desarrollo de cultivos en los modelos agroforestales

3.10.5.1 Población de cultivos

Al realizar la comparación de la población de plantas en los modelos agroecológicos durante el periodo comprendido entre noviembre de 2018 y febrero de 2019, no se evidencian diferencias estadísticas. Para el Modelo 3 se presentó la tasa más elevada de población en noviembre con el 76%. Para el Modelo 2, el 63,5% fue la tasa poblacional más elevada en el mes de febrero. Finalmente, el Modelo 1 presentó la tasa poblacional más baja durante este tiempo (Tabla 63).

Tabla 63

Análisis de varianza para la población durante los meses noviembre 2018 y febrero 2019 en el municipio de Arboledas

		Modelo			CV %	EE
		CE - A - M	CE - A - M	CE - A - F		
Población noviembre	Media transformada 2arcosenov%/100	2,06a	2,03a	2,12a	43,33	0,16
	Media transformada	73,5	72,0	76,0		
Población febrero	Media transformada 2arcosenov%/100	1,83a	1,87a	1,84a	57,77	0,19
	Media transformada	63,0	64,7	63,5		

Nota. CE Cedro, L Limón, M Maíz, A Aguacate, F Fríjol.*. Letras desiguales en las columnas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey. Fuente: Elaboración propia (2024)

Se evidencia reducción en la población en las parcelas testigo y agroecológicas al mes de febrero de 2019 sin presentarse diferencias estadísticas (Tabla 64).

Tabla 64
Análisis de varianza para la población durante los meses noviembre 2018 y febrero 2019 en el municipio de Arboledas

		Parcela		CV %	EE
		Agroec.	Testigo		
Población noviembre	Media trasformada 2arcosenov%/100	2,14a	2,00a	42,98	0,13
	Media transformada	77,00	71,00		
Población febrero	Media trasformada 2arcosenov%/100	1,88a	1,82a	57,41	0,16
	Media transformada	65,00	62,30		

Nota. *Solo existe diferencia estadística cuando las letras son desiguales entre las medias en las columnas, según prueba de Tukey para p<0,05. Fuente: Elaboración propia (2024)

Al realizar la comparación de los grupos funcionales de cultivos, se evidencia diferencia estadística entre los cultivos transitorios con una media de 30% en noviembre y una media de 8,5% en febrero respecto a los forestales y semipermanentes (Tabla 65).

Tabla 65
Análisis de varianza para la población durante los meses noviembre 2018 - febrero 2019 en los diferentes grupos funcionales de cultivos en el municipio de Arboledas

		Parcela			CV %	EE
		Forestal	Semipermanente	Transitorio		
Población noviembre	Media trasformada 2arcosenov%/100	2,38a	2,66	1,16a	29,06	0,11
	Media transformada	86,50	94,50	30,00		
Población febrero	Media trasformada 2arcosenov%/100	2,37a	2,58a	0,59b	30,56	0,10
	Media transformada	86,00	92,50	8,50		

Nota. Letras desiguales en las columnas difieren para p<0,05 según prueba de Tukey. Fuente: Elaboración propia (2024)

3.10.5.2 Dinámica del desarrollo de los cultivos por parcela

Al comparar el diámetro y la altura del cedro (cultivo forestal) en los tres modelos agroforestales, se evidenció comportamiento similar entre ambos tipos de parcelas. La altura se incrementó en 9,99 cm y 11,65 cm en la parcela testigo y agroecológica, respectivamente. El diámetro pasó de 0,49 cm a 0,58 y de 0,49 a 0,60 cm en la parcela agroecológica y testigo, respectivamente (Tabla 66).

Tabla 66
Comparación de las variables altura y diámetro del cedro en las parcelas agroforestales y testigo de los modelos 1, 2 y 3 en el municipio de Arboledas

Modelos agroecológicos 1, 2 y 3	Altura de la planta Cedro (cm)			Diámetro del tallo Cedro (cm)		
Parcela	Agroecológica	Testigo	CV %	Agroecológica	Testigo	CV %
Febrero	27,91 NS	32,21 NS	36,50	0,49 NS	0,49 NS	30,76
Marzo	28,70 NS	32,05 NS	34,33	0,50 NS	0,47 NS	54,10
Abril	39,56 NS	42,20 NS	22,29	0,58 NS	0,60 NS	30,78

Nota. NS: No significación estadística entre las medias de cada variable en las columnas para $p<0,05$ Fuente: Elaboración propia (2024)

Las variables de diámetro y altura del limón Tahití en el Modelo agroecológico 1, presentaron comportamiento similar entre los dos tipos de parcelas (Tabla 67).

Tabla 67
Comparación de las variables altura y diámetro del limón Tahití en la parcela agroforestal y testigo del modelo 1 en el municipio Arboledas.

Modelos agroecológicos 1, 2 y 3	Altura de la planta Cedro (cm)			Diámetro del tallo Cedro (cm)		
	Parcela	Agroecológica	Testigo	CV %	Agroecológica	Testigo
Enero	63,19 NS	64,92 NS	12,82	0,95 NS	0,94 NS	13,75
Febrero	63,19 NS	64,92 NS	12,82	0,95 NS	0,94 NS	13,75
Marzo	68,41 NS	70,77 NS	12,27	0,99 NS	0,98 NS	12,37
Abril	74,17 NS	75,01 NS	10,87	1,02 NS	1,02 NS	11,17

Nota. NS: No significación estadística entre las medias de las columnas para cada variable para $p<0,05$. Fuente: Elaboración propia (2024)

Para el cultivo del aguacate en el Modelo 2; el diámetro y la altura presentaron comportamiento similar entre la parcela testigo y la parcela agroecológica (Tabla 68).

Tabla 68
Comparación de las variables altura y diámetro del aguacate entre la parcela agroforestal y testigo del Modelo 2, en el municipio de Arboledas

Modelos agroecológicos 1, 2 y 3	Altura de la planta aguacate (cm)			Diámetro del tallo aguacate (cm)		
Parcela	Agroecológica	Testigo	CV %	Agroecológica	Testigo	CV %
Enero	39,87 NS	42,29 NS	24,69	0,80 NS	0,83 NS	16,56
Febrero	40,77 NS	43,49 NS	20,56	0,82 NS	0,85 NS	12,63
Marzo	47,96 NS	48,92 NS	15,70	0,88 NS	0,89 NS	11,87
Abril	54,81 NS	54,53 NS	20,01	0,95 NS	0,97 NS	27,95

Fuente: Elaboración propia (2024)

En el Modelo agroecológico 3, las variables de diámetro y altura del cultivo del aguacate presentaron comportamiento similar entre las parcelas testigo y las parcelas agroecológicas (Tabla 69).

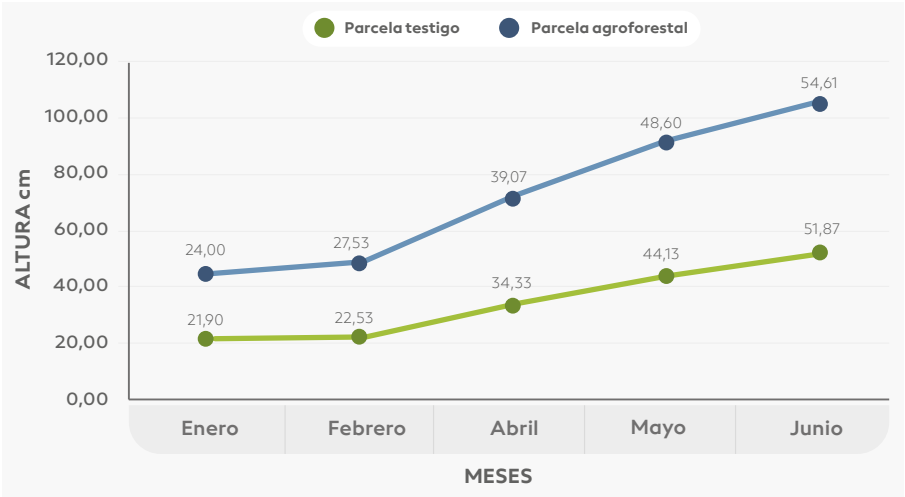
Tabla 69
Comparación de las variables altura y diámetro del aguacate entre la parcela agroforestal y testigo del modelo 3 en el municipio Arboledas.

Modelos agroecológicos 1, 2 y 3	Altura de la planta aguacate (cm)			Diámetro del tallo aguacate (cm)		
Parcela	Agroecológica	Testigo	CV %	Agroecológica	Testigo	CV %
Enero	41,69 NS	39,84 NS	20,01	0,81 NS	0,79 NS	27,95
Febrero	42,70 NS	40,40 NS	10,80	0,81 NS	0,80 NS	18,72
Marzo	49,81 NS	46,60 NS	9,36	0,88 NS	0,86 NS	16,25
Abril	56,68 NS	52,26 NS	9,20	0,94 NS	0,91 NS	14,98

Fuente: Elaboración propia (2024)

Para el cultivo del cedro (forestal) del Modelo 1, se presentó incremento de 30,61 cm y 29,97 cm de altura para la parcela agroecológica y testigo en el periodo comprendido entre enero y junio de 2019 (Figura 41).

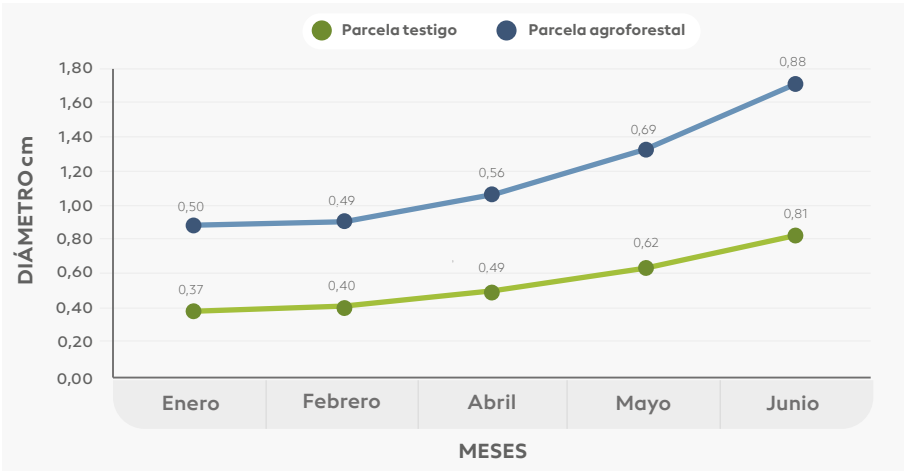
Figura 41
Variable altura en el cultivo de cedro, Modelo agroforestal 1 Cedro-Limón-Maíz.



Fuente: Elaboración propia (2024)

Para el cultivo forestal (cedro) del modelo 1, el diámetro pasó de 0,37 cm a 0,81 cm en la parcela testigo, mientras que en la agroecológica pasó de 0,50 cm a 0,88 cm en el periodo de enero a junio de 2019 (Figura 42).

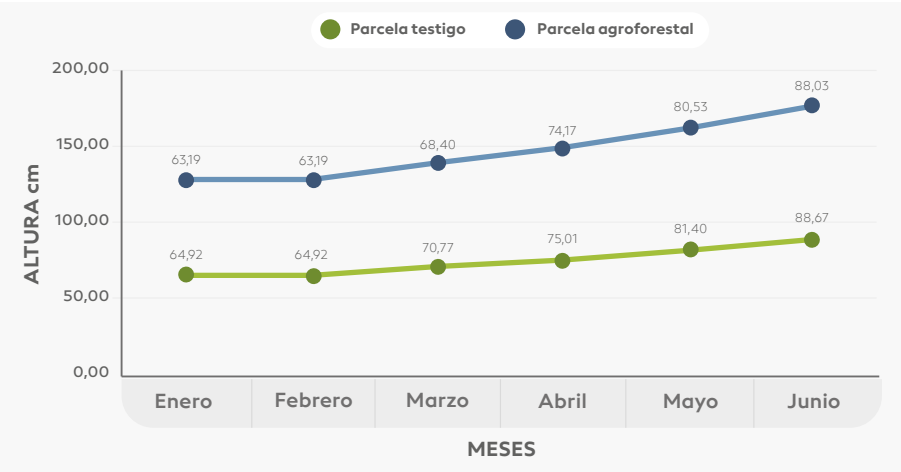
Figura 42
Variable diámetro en el cultivo de cedro, Modelo agroforestal 1 Cedro-Limón-Maíz



Fuente: Elaboración propia (2024)

La altura del limón Tahití del modelo 1, se incrementó a 23,75 cm y 24,84 cm para las parcelas testigo y agroecológica respectivamente (Figura 43).

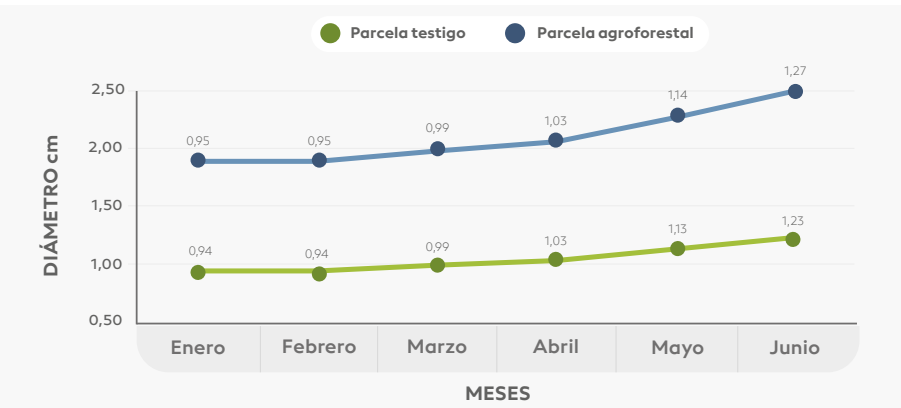
Figura 43
Variable altura en el cultivo de limón, Modelo agroforestal 1 Cedro-Limón-Maíz.



Fuente: Elaboración propia (2024)

El diámetro en este mismo cultivo y modelo, se incrementó de 0,95 cm a 1,27 cm en la Parcela Agroforestal y de 0,94 cm a 1,23 cm en la Parcela Testigo (Figura 44).

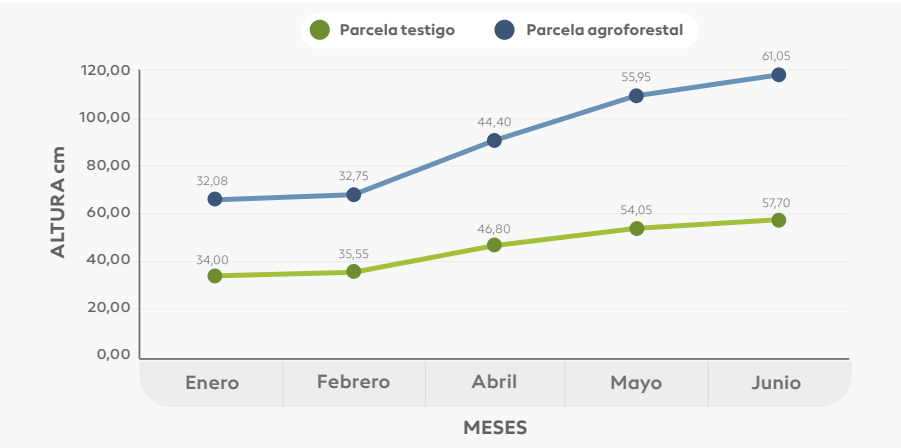
Figura 44
Variable diámetro en el cultivo de limón, Modelo agroforestal 1 Cedro-Limón-Maíz.



Fuente: Elaboración propia (2024)

La variación de la altura del cultivo cedro del Modelo 2 se describe en Figura 45 para los dos tipos de parcelas.

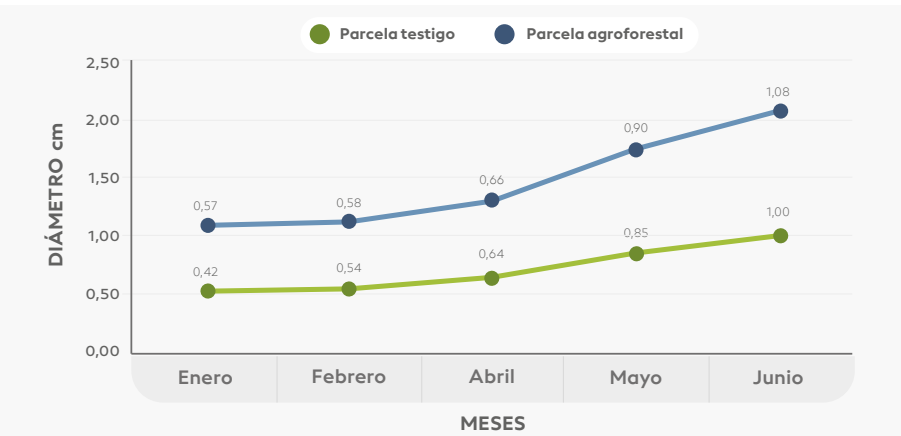
Figura 45
Variable altura en el cultivo de cedro, Modelo agroforestal 2 Cedro-Aguacate-Maíz.



Fuente: Elaboración propia (2024)

El diámetro para el cultivo forestal (cedro) del Modelo 2, presentó incremento en los dos tipos de parcelas en el periodo comprendido entre enero y junio de 2019, tal como se muestra en la Figura 46.

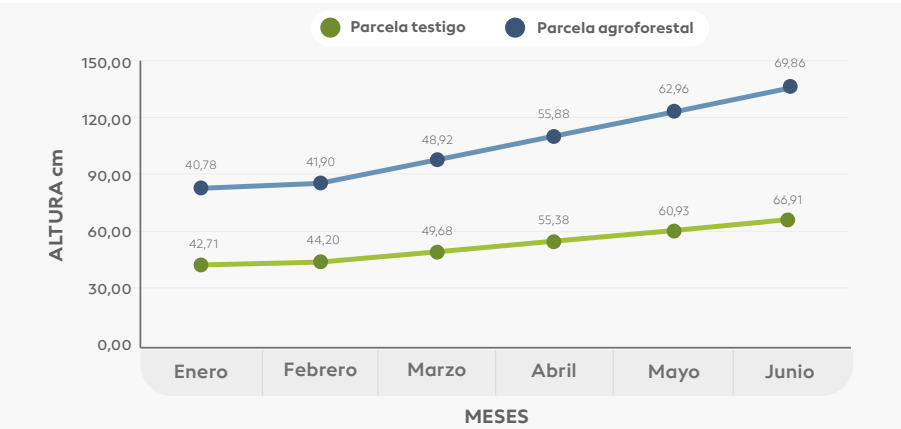
Figura 46
Variable diámetro en el cultivo de Cedro, Modelo agroecológico 2 Cedro-Aguacate-Maíz.



Fuente: Elaboración propia (2024)

La altura del cultivo de aguacate en el modelo 2 presentó valores medios de crecimiento de 29,08 cm en la parcela agroecológica y de 24,2 cm en la parcela testigo (Figura 47).

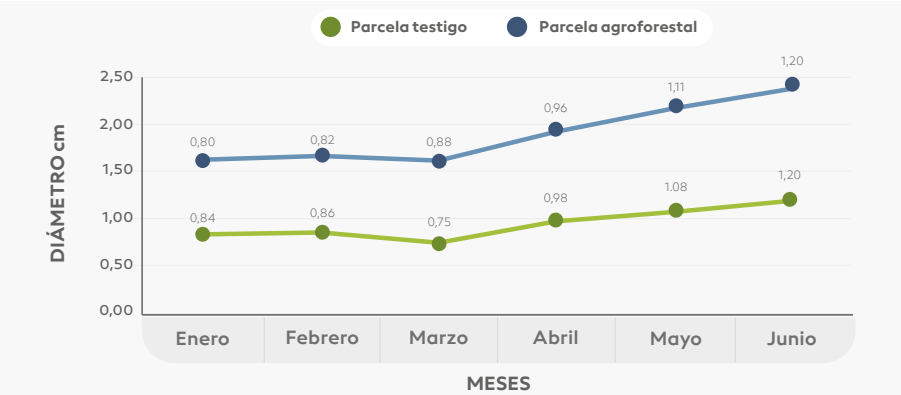
Figura 47
Variable altura en el cultivo de aguacate, Modelo agroforestal 2 Cedro-Aguacate-Maíz.



Fuente: Elaboración propia (2024)

En la Figura 48 se presenta el comportamiento de la variable altura diámetro del cultivo aguacate del Modelo 2, tanto para la parcela testigo como agroecológica.

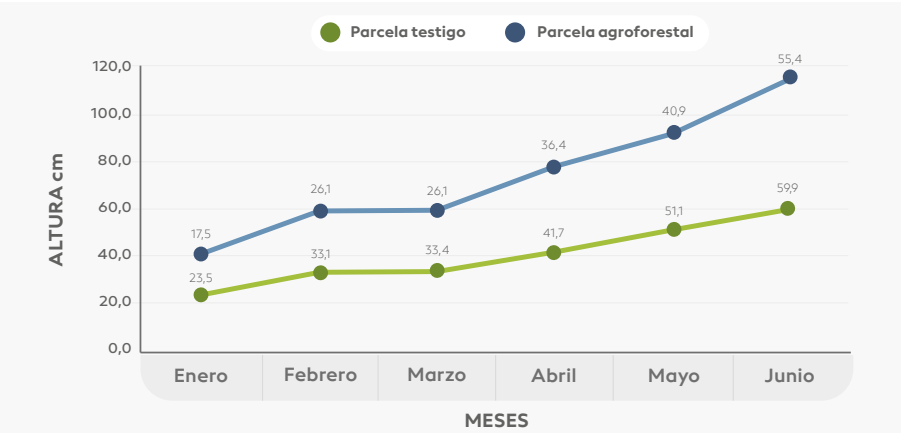
Figura 48
Variable diámetro en el cultivo de aguacate, Modelo agroforestal 2 Cedro-Aguacate-Maíz



Fuente: Elaboración propia (2024)

Para el cultivo forestal del Modelo 3, se presentó incremento de altura de 36,4 cm en la parcela testigo y 37,9 cm en la agroecológica (Figura 49).

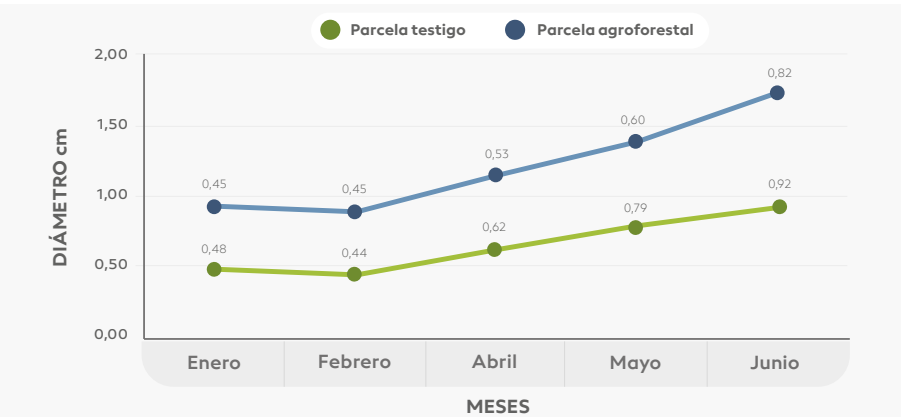
Figura 49
Variable altura en el cultivo de cedro, Modelo agroforestal 3 Cedro-Aguacate-Frijol.



Fuente: Elaboración propia (2024)

La media del diámetro del cedro (forestal) se determinó en 0,82 cm y 0,48 cm en la parcela agroecológica y testigo, respectivamente (Figura 50).

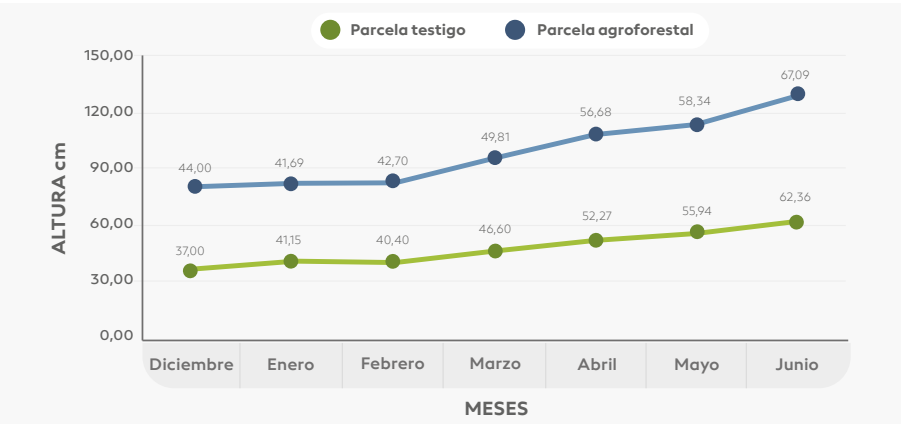
Figura 50
Variable diámetro en el cultivo de cedro, modelo agroforestal 3 Cedro-Aguacate-Frijol.



Fuente: Elaboración propia (2024)

La variable altura para el cultivo de aguacate del Modelo 3, presentó un incremento de 25,36 cm en la parcela testigo y de 23,09 cm en la agroforestal experimental (Figura 51).

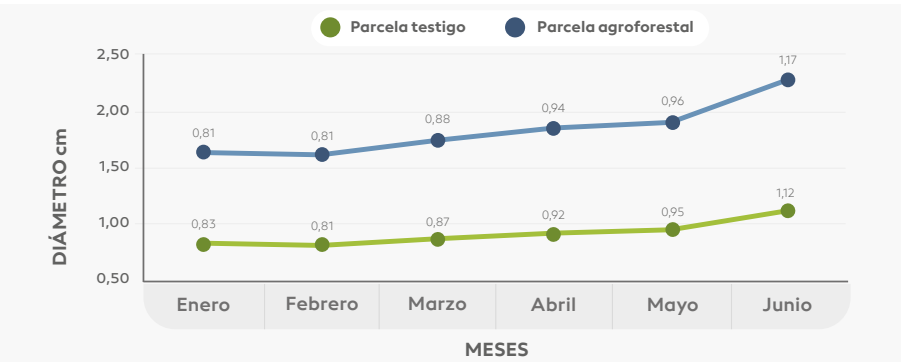
Figura 51
Variable altura en el cultivo de aguacate, Modelo agroecológico 3 Cedro-Aguacate-Frijol.



Fuente: Elaboración propia (2024)

El diámetro para este mismo cultivo presentó una media de 1,12 cm en la parcela testigo y 1,17 en la agroecológica (Figura 52).

Figura 52
Variable diámetro en el cultivo de aguacate, Modelo agroforestal 3 Cedro-Aguacate-Frijol.



Fuente: Elaboración propia (2024)

3.10.5.3 Dinámica de plagas y enfermedades

Presencia de agentes nocivos

En el primer modelo agroecológico no se tuvo presencia de enfermedades. Las plagas más comunes fueron araña tejedora y minador y se presentaron en el cultivo de limón únicamente (Tabla 70).

Tabla 70
Agentes nocivos en el Modelo 1 por cultivo del municipio de Arboledas

Cultivos / Parcela Testigo	Cedro	
	Limón	Minador (<i>Phyllocnistis citrella</i>) y Araña tejedora (<i>Tetranychus</i>)
	Maíz	
Cultivos / Parcela Experimental	Cedro	
	Limón	Araña tejedora (<i>Tetranychus</i>)
	Maíz	

Fuente: Elaboración propia (2024)

En contraste, en el segundo modelo, se presentaron plagas como lorito verde, pulgón y araña tejedora en el cultivo de cedro y aguacate; en ambos tipos de parcelas. El maíz, presentó ataque de cogollero en ambas parcelas. No se evidenció ataque de enfermedades en este modelo (Tabla 71).

Tabla 71
Agentes nocivos en el Modelo 2 por cultivo del municipio de Arboledas

Cultivos / Parcela Testigo	Cedro	Lorito verde (<i>Empoasca sp</i>), Araña tejedora (<i>Tetranychus sp</i>) y Pulgón (<i>Myzus persicae</i>)
	Aguacate	Lorito verde (<i>Empoasca sp</i>), Araña tejedora (<i>Tetranychus sp</i>) y Pulgón (<i>Myzus persicae</i>)
	Maíz	Cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>)
Cultivos / Parcela Experimental	Cedro	Lorito verde (<i>Empoasca sp</i>), Araña tejedora (<i>Tetranychus sp</i>) y Pulgón (<i>Myzus persicae</i>)
	Aguacate	Lorito verde (<i>Empoasca sp</i>), Araña tejedora (<i>Tetranychus sp</i>) y Pulgón

		(<i>Myzus persicae</i>)
	Maíz	Cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>)

Fuente: Elaboración propia (2024)

Finalmente, en el Modelo 3 no se presentaron ataques ni de plagas ni de enfermedades.

Niveles de incidencia de plagas y enfermedades

La incidencia del minador en el cultivo de limón del Modelo 1 se dio con una media del 5% en ambas parcelas. La afectación de la araña roja presentó niveles muy bajos en este mismo cultivo (Tabla 72).

Tabla 72
Incidencia de los principales agentes nocivos en el Modelo 1 por cultivo del municipio de Arboledas

	Cultivo	Minador (<i>Phyllocnistis citrella</i>)
Cultivos / parcela testigo	Cedro	
	Limón	5
	Maíz	
Cultivos / parcela experimental	Cedro	
	Limón	5
	Maíz	

Fuente: Elaboración propia (2024)

De acuerdo al Instituto Colombiano Agropecuario (2012), los daños ocasionados por esta plaga consisten en el debilitamiento del área foliar debido a las minas que ocasiona la larva cuando emerge y traspasa a la epidermis, presentándose principalmente en árboles jóvenes.

Para el Modelo 2, en el cedro y aguacate los ataques de lorito verde, araña tejedora y pulgón no sobrepasaron el 5% en ambos tipos de parcelas. Por su parte, el cogollero atacó el maíz en una proporción del 18% en la Parcela Agroecológica y 8% en la Testigo (Tabla 73).

Tabla 73
Incidencia de los principales agentes nocivos en el Modelo 2 por cultivo del municipio de Arboledas

	Cultivo	Arañita tejedora (<i>Tetranychus sp</i>)	Lorito verde (<i>Empoasca sp</i>)	Pulgón (<i>Myzus persicae</i>)	Cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>)
Cultivos / parcela testigo	Cedro	5	5	2	
	Aguacate	5	5	2	
	Maíz				8
Cultivos / parcela experimental	Cedro	5	5	2	
	Aguacate	5	5	2	
	Maíz				18

Fuente: Elaboración propia (2024)

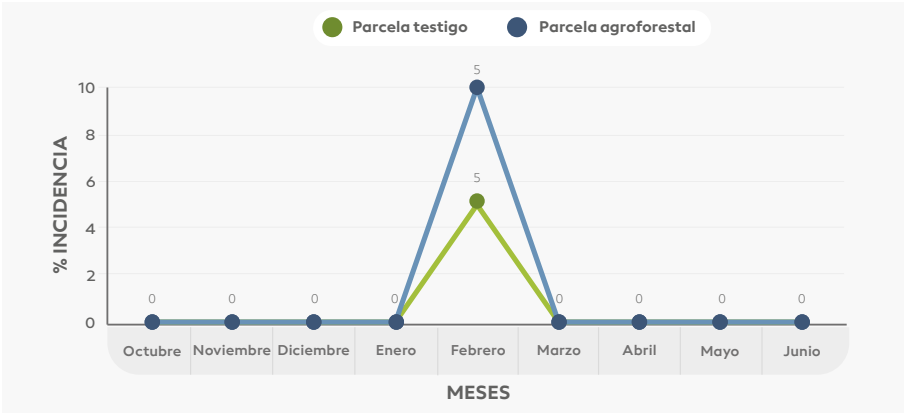
El principal daño ocasionado por el lorito verde, consiste en clorosis foliar, encrespamiento, deterioro del crecimiento y reducción en el rendimiento del cultivo. Este daño se agudiza cuando el suelo no contiene humedad adecuada (Romero, 2022). Por su parte, los pulgones ocasionan deformación de hojas, marchitamiento, clorosis y muerte de las plantas, además, que transmiten enfermedades virosas (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2012).

En el Modelo 3 no hubo presencia de plagas ni enfermedades, siendo muy favorable su situación en este aspecto. Se realizaron varias aplicaciones, especialmente de los productos Fitotripen, Bassar, Nemocrop, Raxter y Carrier beneficiando la no presencia de plagas tanto en las parcelas agroecológicas como en las testigos.

Dinámica poblacional

En el cultivo de limón, la plaga minadora se presentó en el mes de febrero. En los demás meses no hubo presencia de esta plaga. En este modelo, se hicieron aplicaciones de productos como Bassar, Fitotripen, Raxter, Carrier y Nemocrop favoreciendo la no presencia de esta plaga en ambos tipos de parcelas (Figura 53).

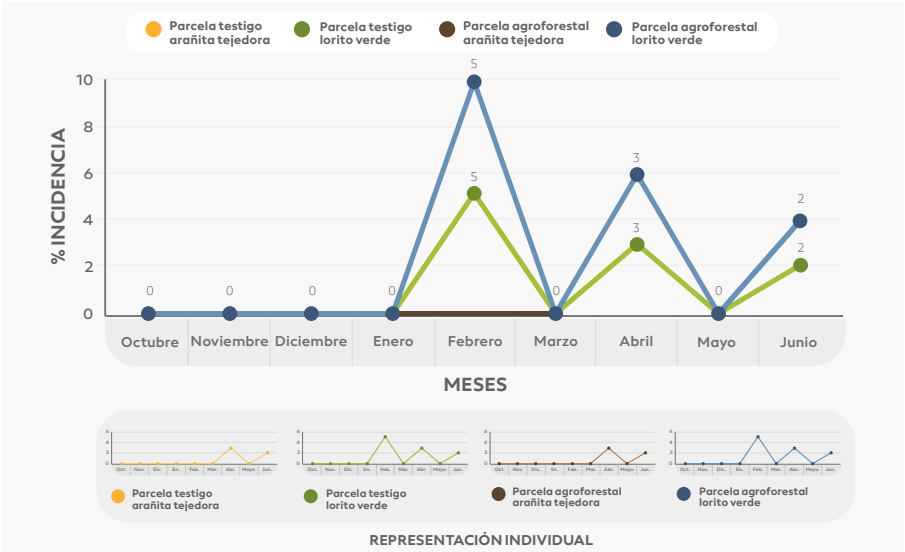
Figura 53
Dinámica poblacional del principal agente nocivo en el cultivo de limón del Modelo agroforestal Cedro- Limón-Maíz.



Fuente: Elaboración propia (2024)

Para el cedro, la arañita tejedora se presentó en abril en la Parcela Testigo y junio en la Parcela Agroecológica. Para febrero, se registró ataque de lorito verde en ambas parcelas (Figura 54).

Figura 54
Dinámica poblacional de los principales agentes nocivos en el cultivo de cedro del Modelo agroforestal Cedro- Aguacate-Maíz

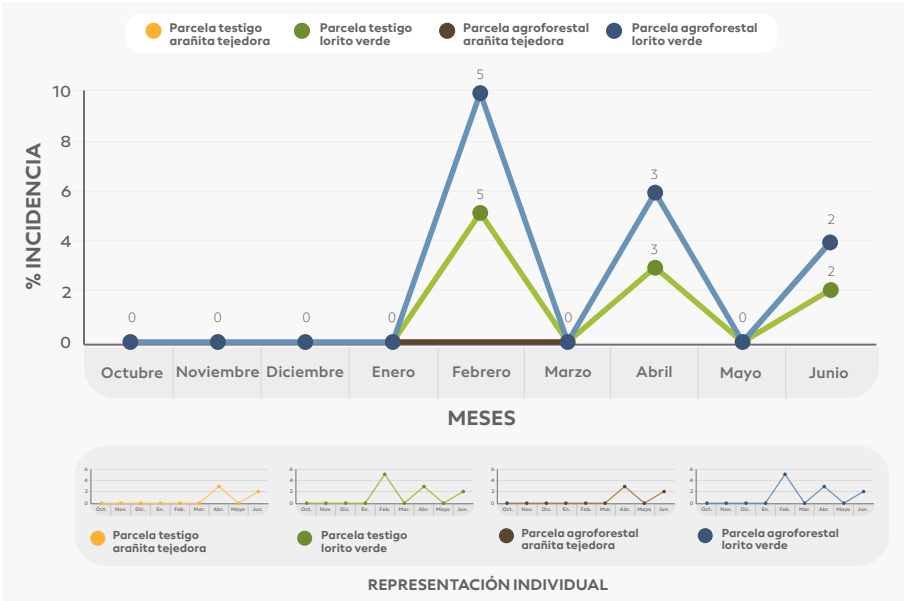


Fuente: Elaboración propia (2024)

En el Modelo 2 realizaron varias aplicaciones, especialmente de los productos Fitotripen, Bassar, Nemocrop, Raxter y Carrier en ambos tipos de parcelas. En el mes de octubre del año 2018 con la aplicación de los productos antes mencionados, se controló la plaga cogollero en el cultivo de maíz (*Spodoptera frugiperda*) en la etapa inicial del cultivo y en los meses de abril y junio que se presentó la plaga araña tejedora (*Tetranychus spp.*), realizaron aplicaciones de Capsialil y Dipel, el cual permitió la disminución de la población.

En el cultivo del aguacate se evidenció ataque de lorito verde y araña tejedora en el mes de febrero en ambas parcelas. La araña tejedora, presentó ataques en abril para la Parcela Testigo y en junio para la Agroecológica (Figura 55).

Figura 55
Dinámica poblacional de las principales plagas en el cultivo de aguacate del Modelo agroforestal Cedro- Aguacate-Maíz.

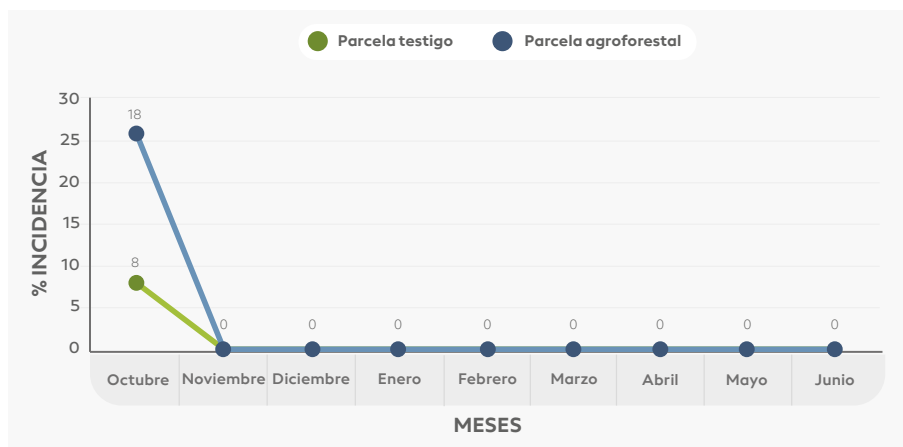


Fuente: Elaboración propia (2024)

Para el maíz, la única plaga reportada fue el cogollero en el mes de octubre (Figura 56).

Figura 56

Dinámica poblacional de la principal plaga en el cultivo de maíz del Modelo agroforestal Cedro- Aguacate-Maíz.



Fuente: Elaboración propia (2024)

3.11 Validación social de los sistemas agroforestales con los agricultores

Con el fin de validar a nivel social la apropiación de los resultados del proyecto, fue realizado un taller participativo con los beneficiarios del proyecto.

Fueron desarrolladas mesas de trabajo con la participación de los beneficiarios, utilizando la matriz DOFA como instrumento de investigación para que los usuarios expusieran las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de los sistemas agroforestales; así como un plan de acción para el mejoramiento de futuros proyectos. Todo esto con el acompañamiento de los profesionales idóneos en el tema y se culminó con la realización de una encuesta.

Análisis DOFA

A partir de la información recolectada mediante la aplicación de la matriz DOFA, se realizó el cruce de datos para conocer el nivel de aceptación y adopción del proyecto, con el fin de diseñar estrategias encaminadas a obtener mejores resultados en futuros proyectos (Tabla 74).

Tabla 74

Análisis DOFA aplicado a los participantes del proyecto

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
• Contar con tierra fértil. • Vocación agrícola. • Óptima calidad del material vegetal entregado. • Alta inversión realizada en insumos y equipos. • Confianza en los conocimientos y habilidades adquiridas para el manejo de productos orgánicos agroecológicos. • Capacitaciones implementadas con la práctica Escuelas de Campo (ECAS), visitas a diferentes cultivos. • Aprendizaje técnico en lo referente a Sembrar– conocer e identificar las necesidades del terreno. • Técnicas aplicadas que permitirán cultivos en crecimiento con una mejor cosecha (abonar, fertilizar, fumigar) sin utilizar químicos. • Controlar la plaga y el manejo de enfermedades de forma natural. • Ampliar maderables y reforestar. • Mantener actitud de dedicación y entusiasmo durante todas las fases del proyecto productivo.	• Contar con la estación meteorológica. • Iniciativa de poderse conformar una asociación de productores con fines de comercialización. • La administración municipal viene apoyando un proyecto de aguacate que tiende a proseguir y podría impulsar las iniciativas de proyecto acompañadas por Plantar. • Lograr gestión gubernamental para que mediante el sistema general de regalías se pueda acceder a una procesadora de Fruver.
DEBILIDADES	AMENAZAS
• Luego del proceso de siembra se asesoró en el sistema de riego. • Sistema de riego incompleto para el cultivo emprendido. • Suspensión del apoyo técnico luego de terminar el acompañamiento durante la primera fase del proceso, sugieren debe ser proporcional al tiempo de producción del cultivo a mediano plazo: Tres (3) años, por ser cultivos perennes.	• Tiempo - condiciones ambientales, verano e invierno. • Verano adverso. • Temor frente a una alta producción por su manejo. • Carecer de acompañamiento y visitas técnicas en caso de una plaga.

• Se carece de mano de obra calificada en el municipio para el manejo de cultivo tecnificado (acciones de poda, trazado de cultivo).	
--	--

Fuente: Elaboración propia (2024)

Estrategias fortalezas vs oportunidades

- Participantes altamente motivados con vocación agrícola y habilidades técnicas adquiridas que les permitirán mantener los cultivos emprendidos en óptimo crecimiento, libre del uso de productos químicos.
- Articular con la oferta local municipal la fase de seguimiento y asistencia técnica mediante oportunidades de capacitación en temáticas de asociatividad y comercialización, dirigidas a los beneficiarios del proyecto con el fin de ampliar la proyección hacia mercados que promueven productos orgánicos.
- Percibir la administración municipal como un actor territorial preponderante para posicionarse como productores a mediana escala.
- Acompañar y mantener el apoyo brindado a la mujer rural como modelo positivo de inclusión social.

Estrategias debilidades vs oportunidades

- Impulsar desde la administración local la gestión y puesta en marcha de procesos de capacitación técnica, orientados a cualificar la mano de obra en el manejo de cultivos tecnificados, ya que se carece de ésta en el municipio y así generar empleo.
- Establecer alianzas con entidades de orden local y regional para garantizar el acompañamiento y asistencia técnica, una vez culminado el proyecto por parte de Plantar.

Estrategias fortalezas vs amenazas

- Garantizar acompañamiento y asistencia técnica para el control oportuno de plagas y enfermedades.
- Contar con conocimientos y habilidades por parte de los participantes para el manejo de productos orgánicos agroecológicos.

Estrategias debilidades vs amenazas

- Carecer de acompañamiento técnico en fase de cosecha y poscosecha, genera sentimientos de temor frente al manejo de una alta producción.
- Mejorar el sistema de riego ya que es percibido como incompleto dado los cultivos emprendidos.

En la Tabla 75 se muestra el análisis interno y externo aplicado a la matriz DOFA del municipio de Arboledas en el marco del Proyecto Plantar.

Tabla 75
Análisis de la matriz DOFA del municipio de Ocaña en el marco del Proyecto Plantar

	Fortalezas	Debilidades
Análisis interno	• Contar con tierra fértil. • Vocación agrícola. • Óptima calidad del material vegetal entregado. • Alta inversión realizada en insumos y equipos.	• Luego del proceso de siembra se asesoró en el sistema de riego, debió brindarse antes de sembrar. • Sistema de riego incompleto para el cultivo emprendido.
Análisis externo	• Confianza en los conocimientos y habilidades adquiridas para el manejo de productos orgánicos agroecológicos. • Capacitaciones implementadas con la práctica Escuelas de Campo (ECAS), visitas a diferentes cultivos.	• Suspensión del apoyo técnico luego de terminar el acompañamiento durante la primera fase del proceso, debe ser proporcional al tiempo de producción del cultivo a mediano plazo: Tres (3) años por ser cultivos perennes. • Se carece de mano de obra calificada en el

	• Aprendizaje técnico en lo referente a sembrar—conocer e identificar las necesidades del terreno. • Técnicas aplicadas que permitirán cultivos en crecimiento con una mejor cosecha (abonar, fertilizar, fumigar) sin utilizar químicos. • Controlar la plaga y el manejo de enfermedades de forma natural. • Ampliar maderables y reforestar. • Mantener actitud de dedicación y entusiasmo durante todas las fases del proyecto productivo.	municipio para el manejo de cultivo tecnificado (acciones de poda, trazado de cultivo).
Oportunidades • Contar con la estación meteorológica. • Iniciativa de poderse conformar una asociación de productores con fines de comercialización. • La administración municipal viene apoyando un proyecto de aguacate que tiende a proseguir y podría impulsar las iniciativas de proyecto acompañadas por Plantar. • Lograr gestión gubernamental para que mediante el Sistema General de Regalías se pueda acceder a una procesadora de Fruver.	Estrategias F vs O • Participantes altamente motivados con vocación agrícola y habilidades técnicas adquiridas, que les permitirán mantener los cultivos emprendidos en óptimo crecimiento; libre del uso de productos químicos. • Articular con la oferta local municipal la fase de seguimiento y asistencia técnica mediante oportunidades de capacitación en temáticas de asociatividad y comercialización dirigidas a los beneficiarios del proyecto con el fin de ampliar la proyección hacia mercados que promueven productos orgánicos. • Percibir la administración municipal como un actor territorial preponderante para posicionarse como productores a median escala. • Acompañar y mantener el apoyo brindado a la mujer rural como modelo positivo de inclusión social.	Estrategias D vs O • Impulsar desde la administración local la gestión y puesta en marcha de procesos de capacitación técnica orientados a cualificar la mano de obra en el manejo de cultivos tecnificados, ya que se carece de ésta en el municipio y así generar empleo. • Establecer alianzas con entidades de orden local y regional para garantizar el acompañamiento y asistencia técnica, una vez culminado el proyecto por parte de Plantar.

Amenazas • Tiempo - condiciones ambientales, verano e invierno. • Verano adverso. • Temor frente a una alta producción por su manejo. • Carecer de acompañamiento y visitas técnicas en caso de una plaga.	Estrategias F vs A • Garantizar acompañamiento y asistencia técnica para el control oportuno de plagas y enfermedades. • Contar con conocimientos y habilidades por parte de los participantes para el manejo de productos orgánicos agroecológicos.	Estrategias D vs A • Carecer de acompañamiento técnico en fase de cosecha y poscosecha genera sentimientos de temor frente al manejo de una alta producción • Mejorar el sistema de riego ya que es percibido como incompleto dado los cultivos emprendidos.
--	--	--

Fuente: Elaboración propia (2024)

Plan de acción

Las recomendaciones más importantes aportadas por los agricultores fueron:

La necesidad de brindar asistencia técnica en fases como cosecha y poscosecha, y se considera que el sistema de riego es un aspecto sensible para el proyecto.

Se recomienda para futuros proyectos establecer alianzas o acuerdos interinstitucionales, para llevar a cabo procesos de capacitación técnica que en la actualidad son escasos en la oferta municipal para cualificar la mano de obra requerida para cultivos tecnificados y contemplar temáticas en el proceso de formación con los participantes tales como comercialización, asociatividad, bancarización para que los agricultores pueden acceder a capital de trabajo.

Se recomienda para futuros proyectos:

1. Organizar las reuniones según la disponibilidad de tiempo con que cuentan los agricultores.
2. Hacer acompañamiento hasta la etapa en que los cultivos comiencen a producir.
3. Crear metodologías de trabajo para que las reuniones con los productores sean más dinámicas y objetivas en los temas que se quieren tratar.

4. Crear actividades más prácticas y menos teóricas que despierten el interés de los usuarios.
5. Realizar charlas sobre asociatividad y emprendimiento con el fin de mostrarle a los usuarios los beneficios que tienen a la hora de estar asociados.
6. Divulgar con más énfasis, las formas y medios en que los agricultores pueden acceder a capital de trabajo.

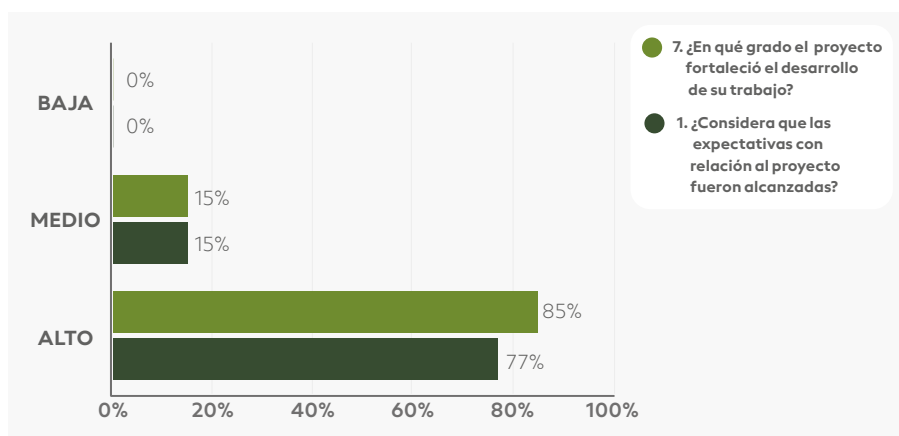
Impacto social

Evaluación de la encuesta

En el municipio de La Playa se realizaron un total de 11 encuestas y participaron 9 hombres y 2 mujeres, como se puede observar en el anexo 1 (encuesta) se tuvieron varios criterios de evaluación y de recolección de información. Para poder profundizar en los resultados de las mismas, se agruparon los gráficos que tuviesen la misma ponderación, ya que nos encontramos con preguntas cerradas y abiertas.

Figura 57

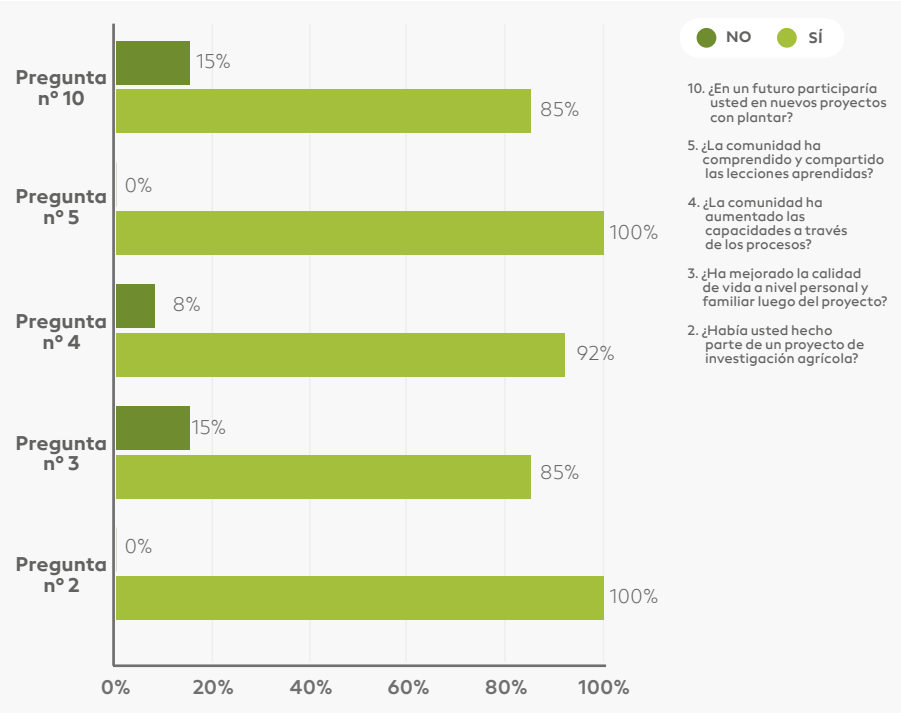
Apreciación de los agricultores participantes sobre el impacto del proyecto.



Fuente: Elaboración propia (2024)

Una tendencia representativa refleja que las expectativas por parte de los participantes frente al proyecto agroecológico fueron alcanzadas de manera **Alta**, en este sentido, los beneficiarios manifiestan un alcance óptimo de satisfacción por el aprendizaje obtenido y el enfoque de manejo de productos orgánicos, evitando afectaciones de carácter ambiental; aplicando nuevas técnicas en cuanto a siembra, abonos, control de plaga y sanidad se refiere.

Figura 58
Percepción de los agricultores sobre las expectativas y fortalecimiento del trabajo desarrollado.



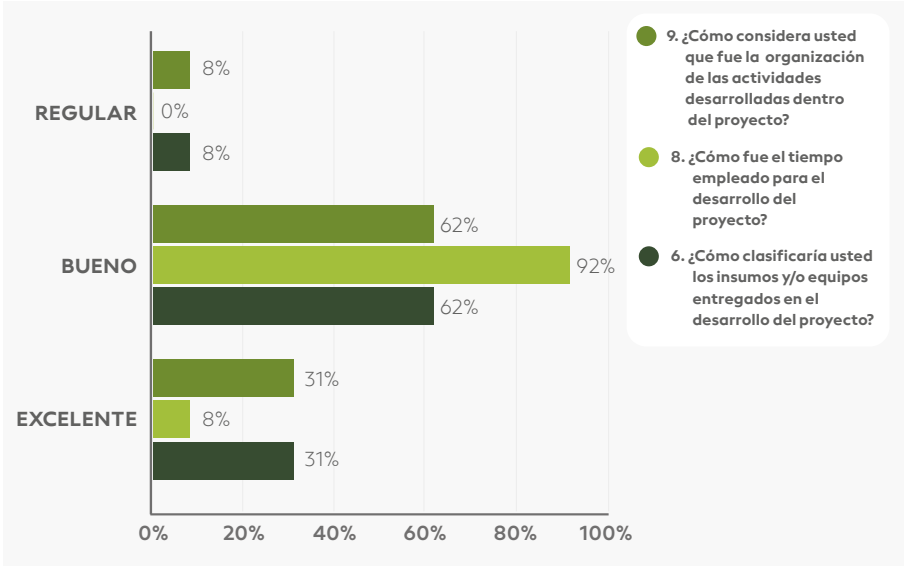
Fuente: Elaboración propia (2024)

La totalidad de los participantes afirman no haber participado previamente en proyectos de investigación agrícola; al respecto valoran esta experiencia como un modelo moderno para aplicar en todos los departamentos de Colombia. Los beneficiarios estiman que su nivel de vida mejorará en el mediano plazo, momento en el cual los cultivos inicien la fase de cosecha y sus ingresos se incrementen por la comercialización de los productos.

Adicional a ello, la valorización del predio por el establecimiento de estos cultivos podría llevarlos a incrementar el área de los mismos.

La totalidad de emprendedores atribuye un aumento en los conocimientos, las habilidades transferidas y la asistencia técnica brindada, destacando como muy favorable las prácticas grupales; una tendencia significativamente alta de participantes reconoce al proyecto como un aprendizaje positivo, resultado del acompañamiento brindado, la participación activa desde la observación de prácticas y técnicas agroecológicas (Podar, elaborar biopreparados orgánicos, fertilizantes, control de plaga) para implementar y replicar conocimientos en la comunidad. (Figura 59).

Figura 59
Percepción de los agricultores sobre el nivel de organización y satisfacción con los insumos y tiempo de desarrollo.



Fuente: Elaboración propia (2024)

En relación a los insumos y equipos entregados, los participantes los califican como *buenos*, lo cual indica un óptimo nivel de satisfacción atribuido a la calidad del material, un alto porcentaje de participantes valoran como *bueno* el tiempo destinado para el proyecto, siendo predominante la afirmación de que sí se necesitaría más tiempo para el desarrollo del proyecto en la

fase de seguimiento, cosecha y poscosecha, mencionando -mínimo un (1) año- dada la importancia de brindar acompañamiento, afianzar y ampliar conocimientos adquiridos para el éxito del cultivo que se encuentra actualmente en crecimiento.

Sobresale un alto porcentaje atribuido como *bueno* a la organización de las actividades desarrolladas dentro del proyecto, siendo en términos generales un indicador de satisfacción por parte de los participantes.

CAPÍTULO 4

**Ventajas y beneficios
de los resultados de
la investigación**

Ventajas y beneficios de los resultados de la investigación

El proyecto de investigación desarrollado en el municipio de Arboledas, Norte de Santander, validó tres modelos agroecológicos en contextos reales de producción, con la activa participación de productores rurales. Esta iniciativa basada en principios de sostenibilidad, resiliencia y participación comunitaria, permitió identificar una serie de resultados con alto valor técnico, ambiental y social. A partir del análisis de estos hallazgos, se identifican múltiples ventajas y beneficios directos e indirectos para los productores rurales, que se presentan a continuación organizados por cada uno de los componentes evaluados en el estudio.

4.1 Validación de modelos agroforestales

- La implementación de sistemas agroforestales generó mejoras en la calidad del agua al reducir significativamente los niveles de zinc, cobre y nitratos; elementos que pueden ser tóxicos para las plantas y el consumo humano.
- Se identificó un aumento en el contenido de amonio y manganeso, nutrientes necesarios en bajas concentraciones, lo cual puede ser aprovechado en la nutrición de cultivos si se maneja adecuadamente.
- Permite a los productores gestionar de forma más eficiente los recursos hídricos, especialmente en zonas con suelos arcillosos donde el uso de aguas duras puede afectar la estructura del suelo.

4.2 Efecto sobre las propiedades agroquímicas del suelo

- Se observará una mejora de la fertilidad del suelo mediante el aumento de nutrientes como calcio, magnesio, fósforo y azufre, especialmente en los modelos 2 y 3.
- Estos cambios promueven un uso más eficiente de los fertilizantes naturales y orgánicos, reduciendo la dependencia de insumos externos y costos de producción.

- La variabilidad registrada permite adaptar las prácticas a las características particulares del terreno, favoreciendo un manejo localizado y de precisión.

4.3 Efecto sobre las variables biológicas del suelo

- Se registró un incremento importante en la diversidad de macro, meso y microfauna, lo que indica un suelo biológicamente activo y sano.
- Un suelo con alta biodiversidad biológica mejora los procesos de procesamiento, ciclo de nutrientes y control biológico natural de plagas.
- Este resultado permite a los productores aprovechar los servicios ecosistémicos que ofrece el suelo, lo que reduce costos por control químico y mejora la sostenibilidad de sus sistemas productivos.

4.4 Desarrollo de cultivos en los modelos agroforestales

- Los cultivos asociados (limón, maíz, aguacate y frijol) se desarrollaron con comportamientos similares o mejores en parcelas agroecológicas frente a testigos, lo que demuestra la viabilidad técnica del enfoque.
- Se redujo la incidencia de plagas, en particular, en el Modelo 3 no se reportaron ataques significativos, lo que muestra el potencial del manejo agroecológico como método preventivo y no dependiente de agroquímicos.
- La estabilidad en el desarrollo de los cultivos refuerza la resiliencia productiva ante la variabilidad climática y ataques bióticos.

4.5 Validación social de los modelos

- Los productores manifestaron un alto grado de satisfacción y apropiación de los modelos agroecológicos implementados.
- Se promovió la organización comunitaria y asociatividad, fortaleciendo redes de apoyo y capacidades para comercialización conjunta.
- Se generaron propuestas de mejora desde los mismos agricultores, lo que demuestra empoderamiento, aprendizaje activo y sostenibilidad social del proyecto.

Los resultados del libro reflejan que los modelos agroecológicos validados no solo tienen impactos positivos en la calidad ambiental y del suelo, sino que también empoderan a los productores con conocimientos prácticos, reducen la dependencia de insumos externos y fortalecen la economía rural desde una visión participativa y sustentable.



Conclusiones

La conformación de los sistemas agroforestales se realizó con los criterios de los agricultores, teniendo como base las condiciones edafoclimáticas del municipio. El cedro fue seleccionado como cultivo forestal para los tres sistemas agroforestales. Para el cultivo semipermanente se escogió el aguacate o el limón y de ciclo corto el maíz o frijol. De igual manera, se ajustó la densidad poblacional, distancia de siembra y arreglo espacial.

A nivel socioeconómico, el 88% de los productores son propietarios de las fincas, los cuales tienen área inferior a 15 hectáreas siendo categorizados como minifundios. En el 60% de los casos, la mano de obra familiar predomina en los sistemas productivos.

El componente agroeconómico evidencia que la caña panelera y el café son los principales cultivos que derivan el sustento de las familias. Importante mencionar, que solo el 6,67% de las fincas manejan algún sistema de riego. Cerca del 90% de las fincas no cuentan con análisis microbiológico ni físico químico del agua empleada en sus cultivos. El análisis de suelos no se ve como un insumo importante para la toma de decisiones y la totalidad de los productores no se encuentra vinculado a alguna asociación o agremiación.

Se resalta que la totalidad de los productores tienen conocimiento sobre el concepto de recurso natural. Además, cerca del 90% de ellos conoce y maneja algún tipo de abono orgánico, *lombrihumus* y biofertilizante; siendo este último empleado por el 41,3% de ellos. Se destaca que ven en estos productos una forma de producción limpia y amigable con el ambiente. En contraste, el nivel de conocimiento en temas y prácticas de inocuidad, Manejo Integrado de Plagas y semillas es muy reducido.

Por medio del análisis de correspondencia múltiple, se identificaron seis agrupaciones de fincas debido a prácticas agroecológicas comunes. Dentro de las prácticas agroecológicas se destacaron como más empleadas: La rotación de cultivos, empleo de policultivos, uso de compostaje y de biofertilizantes

como las micorrizas; el empleo de barreras vivas y la atención a la protección de nacederos y bosques.

La implementación de los modelos disminuyó la concentración de Zn, Cu y nitrato en el Modelo 1. Para el Modelo 2, se incrementó el nivel de Mn y amonio, mientras que para el Modelo 3 se incrementó la concentración de bicarbonatos, amonio, fosfatos, RAS, Mn.

En relación a las propiedades agroquímicas del suelo se presentó variabilidad en todos los parámetros analizados con coeficiente inferior al 60% en el Modelo 1. En el Modelo 2 las concentraciones de Mg, P, Ca, Al, N-No y saturación de bases, S y Mn sobrepasaron el coeficiente de variación del 60% sin diferencia entre los tipos de parcelas. Finalmente, en el Modelo 3 solo estuvieron por debajo de este coeficiente de variación las concentraciones de Na, C, P, pH, B, cloruros y densidad aparente sin diferencia entre las parcelas testigo y agroecológica.

Posterior a la implementación de los sistemas agroforestales, se evidenció disminución de especies en la macrofauna, mesofauna y microfauna.

En el desarrollo de los cultivos, la población de plantas no presentó variación con la implementación de los modelos. El diámetro y altura en el cultivo forestal presentó comportamiento similar en los tres modelos. En el Modelo 1 el limón Tahití, en el Modelo 2 y Modelo 3 el aguacate, no presentaron diferencia en cuanto a diámetro y altura.

Las enfermedades no estuvieron presentes en el Modelo 1. Las plagas más comunes fueron araña tejedora (presencia en el mes de abril y junio) y minador (incidencia del 5% especialmente en el mes de febrero) y se presentaron en el cultivo de limón únicamente. En el segundo modelo, se presentaron plagas como lorito verde, pulgón y araña tejedora en el cultivo de cedro y aguacate en ambos tipos de parcelas (ataques en abril y junio). El maíz, presentó ataque de cogollero en ambas parcelas (18% parcela agroecológica y 8% en la testigo en el mes de octubre). No se evidenció ataque de enfermedades en este modelo. El Modelo 3 estuvo libre de plagas y enfermedades.

Mediante la validación social del proyecto se logró determinar el grado de satisfacción de los productores, quienes, a través de los insumos recibidos,

equipos, talleres y en general por todas las actividades ejecutadas, conocieron la importancia de la producción agroecológica como camino para mejorar la calidad de vida y alcanzar la sostenibilidad ambiental, técnica y productiva.

Referencias

- Altieri, M. A. (1992). *Biodiversidad, agroecología y manejo de plagas*. Ediciones Cetal.
- Altieri, M. A. (1997). *Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable*. CLADES-ACAO.
- Altieri, M. A. (1998). *Farmers, NGOs and lighthouses: Learning from three years of training, networking and field activities* (Monografía UNDP INT/93201).
- Altieri, M. A. (1999). *Agroecología: bases científicas para una agricultura sostenible*. CLADES – CEAS.
- Altieri, M. A. (2004). Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable. *Agricultura Técnica*, 54(4), 371–386.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (1998). Enfoques indígenas y modernos del MIP en América Latina. *LEISA*, 13(4), 6–7.
- Altieri, M. A., & Rosset, P. (1996). Agroecology and the conversion of large-scale conventional systems to sustainable management. *International Journal of Environmental Studies*, 50, 165–185.
- Amett, R., & Thomas, M. (2000). *American beetles: Archostemata, Myxophaga, Adephaga, Polyphaga: Staphyliniformia*. CRC Press.
- Ariza, W., Toro, J. L., & Lores, A. (2008). Análisis florístico y estructural de los bosques premontanos en el municipio de Amalfi (Antioquia, Colombia). *Colombia Forestal*, 12, 81. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2009.1.a07>
- Avelar, J., Ortega, H., Mancilla, O., Khalil, A., Mendoza, I., Sánchez, E., & Can, A. (2023). Variación de la calidad del agua en el cauce principal de la cuenca del río Pánuco. *Terra Latinoamericana*, 41, e1601. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1601>

- Can-Chulim, A., Ortega-Escobar, H. M., Sánchez-Bernal, E. I., & Cruz-Crespo, E. (2014). Calidad del agua para riego en la Sierra Norte de Puebla, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(5), 77–96.
- Cerdá, E. O., Sarandón, S. J., & Flores, C. C. (2014). El caso de “La Aurora”: un ejemplo de aplicación del enfoque agroecológico en sistemas extensivos. En S. J. Sarandón & C. C. Flores (Eds.), *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables* (pp. 437–463). Universidad Nacional de La Plata.
- ICA. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo de cítricos (Citrus): medidas para la temporada invernal*. <https://www.ica.gov.co/getattachment/18307859-8953-4a7d-8d7f-864e3f4898cf/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-citricos.aspx>
- IGAC. (1996). *Consideraciones generales para la interpretación de análisis de suelos con fines agropecuarios*. Subdirección de Agrología.
- IGAC. (2004). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento Norte de Santander*. Tomo I.
- IGAC. (2014). *Manejo de suelos colombianos* (pp. 21–97). ISBN 9789588323763.
- Romero Troya, J. S. (2022). *Control orgánico de Lorito verde (Empoasca fabae L.), en el cultivo del fréjol (Phaseolus vulgaris L.)* [Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Babahoyo]. Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Triplehorn, C., & Johnson, N. (2005). *Borror and DeLong's introduction to the study of insects* (7.^a ed.). Thomson Brooks.
- Álvarez, A. (2007, abril 17–20). El cambio climático y la actividad agraria cubana: situación del sector forestal. *IV Congreso Forestal de Cuba*, La Habana, Cuba.
- Bayon, P. (2006). Educación ambiental, participación y transformación social sostenible en Cuba. *Revista INTERFACE*, 3(3), 35–50.
- Carvalho, J. (1972). *Mirideos neotropicales CXLVI: Género Monalonia H-S., 1853 (Hemiptera)*. Museu Nacional.

- Castañeda-Vildosola, A., Valdez-Carrasco, J., Equihua-Martínez, A., Gonzales-Hernández, H., Romero-Napoles, J., Solís-Aguilar, J., & Ramírez-Alarcón, S. (2007). Systematics, morphology and physiology genitalia de tres especies de *Helipus German* (Coleoptera: Curculionidae) que dañan frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.) en México y Costa Rica. *Neotropical Entomology*, 36(6), 914–918.
- Castro, H. (2004). El diagnóstico integral de la fertilidad de suelos a partir de indicadores analíticos. En *Seminario Manejo integral de la fertilización en cultivos de clima frío*. Sociedad Colombiana de las Ciencias del Suelo.
- Caveness, F. E., & Jensen, H. J. (1955). Modification of the centrifugal flotation technique for the isolation and concentration of nematodes and their eggs from soil and plant tissue. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington*, 22, 87–89.
- Clavijo, N. L. (2004). Evaluación de conocimiento agroecológico en horticultores orgánicos y convencionales de la zona norte de Cartago, Costa Rica. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 58, 37–48.
- Cruz, O., Marrero, P., Herrera, M., & García, L. (2005). *Selección de textos sobre ecología*. Editorial Félix Varela.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2005). *Boletín censo general: Perfil Arboledas – Norte de Santander*. <http://www.dane.gov.co/files/censo2005/perfiles/norte/arboledas.pdf>
- Díaz Azpiazu, M., González Cairo, V., Palacios-Vargas, J., & Lucíañez Sánchez, M. (2004). Clave dicotómica para la determinación de los colémbolos de Cuba (Hexapoda: Collembola). *Boletín de la SEA*, 34, 73–83.
- FAO. (2007). *Situación de los bosques del mundo*. FAO.
- FAO. (2010). *Situación mundial de la agroecología: Discurso del director general de la FAO en el Día Mundial de la Alimentación 2010*. <http://www.fao.org/spanish/dg/2010/wfdrome.html>
- Gargoloff, N. A., Albaladejo, C., & Sarandón, S. J. (2011). La entrevista paisajística: un método para situar las prácticas y saberes de los agricultores. *Cuadernos de Agroecología*, 6(2), 1–4.10916.

- Helmer, D. J., Cubides, A., López, M. C., Pinzón, E. M., Filigrana, P., & Cassiani, C. (2011). Muestreo por conglomerados en encuestas poblacionales. *Revista de Salud Pública*, 13(1), 141–151. <https://search.proquest.com/docview/1677642138>
- Hernández Benalcázar, H., Gagnon, D., & Davidson, R. (2015). Crecimiento y producción inicial de 15 especies de árboles tropicales de la Amazonía. *Siembra*, 2, 69–75.
- Hernández, C. A., & Faye, K. (2017). Papel de la gestión del conocimiento en el aprovechamiento de los recursos naturales en cooperativas campesinas. *DELOS*, 3(7), 1–8.
- Hernández, R. M., Morros, M. E., Bravo, C., Pérez, Z. L., Herrera, P. E., Ojeda, A., Morales, J. B., & Fernández, B. O. (2011). La integración del conocimiento local y científico en el manejo sostenible de suelos en agroecosistemas de sabanas. *Interciencia*, 36(2), 104–112.
- Jadán Maza, O. A., Torres, B., Selesi, D., Peña, D., Rosales, C., & Gunter, S. (2016). Diversidad florística y estructura en cacaotales tradicionales y bosque natural (Sumaco, Ecuador). *Colombia Forestal*, 19(2), 129–142. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.2.a01>
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia.
- Krantz, G. W., & Walter, D. E. (2009). Collection, rearing, and preparing specimens. En G. W. Krantz & D. E. Walter (Eds.), *A manual of acarology* (pp. 83–96). Texas Tech University Press.
- Lerch, G. (1977). *La experimentación en las Ciencias Biológicas y Agrícolas*. Editorial Científico-Técnica.
- Liang, X., Rengasamy, P., Smernik, R., & Mosley, L. M. (2021). ¿El alto contenido de potasio en las aguas residuales recicladas de bodegas utilizadas para riego representa riesgos para la estabilidad estructural del suelo? *Agricultural Water Management*, 243, 106422. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106422>

- Marcelo-Peña, J. L., & Rodríguez, C. R. (2014). Patrones de diversidad y composición florística de parcelas de evaluación permanente en la selva central de Perú. *Rodriguésia*, 65(1), 35–47.
- Mark, J., & Rivers, M. C. (2017). *Cedrela odorata*, Spanish Cedar. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T32292A68080590. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T32292A68080590>
- Medrano, M. de J., & Hernández, F. J. (2017). Diversidad arbórea a diferentes niveles de altitud en la región de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(40), 57–68. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v8n40/2007-1132-remcf-8-40-00057.pdf>
- Melo, O., Fernandez-Méndez, F., & Villanueva, B. (2017). Hábitat lumínico, estructura, diversidad y dinámica de los bosques secos tropicales del Alto Magdalena. *Colombia Forestal*, 20(1), 19–30. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.1.a02>
- Mohd Kamal, M. Z. A., Hashim, D. M., & Mohd Zin, M. S. B. (2015). The effect of the ammonium concentration in the groundwater. *PEOPLE: International Journal of Social Sciences*, Special Issue, 313–319. <https://www.researchgate.net/publication/317266080>
- Mora Donjuán, C. A., Alanís Rodríguez, E., Jiménez Pérez, J., González Tagle, M. A., Yerena Yamallel, J. I., & Cuéllar Rodríguez, L. G. (2013). Estructura, composición florística y diversidad del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Ecología Aplicada*, 12(1), 29–34. <https://doi.org/10.21704/rea.v12i1-2.435>
- Morales-Salazar, M. S., Vílchez-Alvarado, B., Chazdon, R. L., Ortega-Gutiérrez, M., Ortiz-Malavasi, E., & Guevara-Bonilla, M. (2015). Diversidad y estructura horizontal en los bosques tropicales del Corredor Biológico de Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(23), 19. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v9i23.487>
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad* (Vol. 1). CYTED / M&T - Manuales y Tesis SEA.
- Mound, L., & Geoffrey, K. (1998). *Thysanoptera: An identification guide* (2.^a ed.). CAB International.

Odum, E. P. (2005). *Ecología*. Editorial Continental.

Orozco-Aguilar, L., Sampson, A. L., Matey, A., Zeledón, L., Orozco, L., Chavarría, F., & Deheuvels, O. (2013). Composición florística y estructura de cacaotales y parches de bosque en Waslala, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 41.

Ortiz, O. (2001). La información y el conocimiento como insumos principales para la adopción del manejo integrado de plagas. *Revista MIP*, 61, 12–22.

Oster, J. D., Sposito, G., & Smith, C. (2016). Consideración del potasio y el magnesio en la evaluación de la calidad del agua de riego. *California Agriculture*, 70(2), 71–76. <https://doi.org/10.3733/ca.v070n02p71>

Pérez, N., Vázquez, L., & Altieri, M. (2002). The development and status of biologically based integrated pest management in Cuba. *Integrated Pest Management Reviews*, 7, 1–9.

De los autores

Dixon Fabián Flórez Delgado

Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agrarias.

Zootecnista, Universidad de Pamplona.

Magíster en Sistemas Sostenibles de Producción, Universidad de La Amazonía

✉ dixon.florez@unipamplona.edu.co

🌐 <https://orcid.org/0000-0002-3915-8396>

Leonides Castellanos González

Departamento de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Pamplona

Ingeniero Agrónomo Universidad Central de Las Villa – Cuba.

Magíster Ciencias Agrícolas Universidad Agraria de la Habana -Cuba. PhD. En

Ciencias Agrícolas – Universidad Central de Las Villas - Cuba. Posdoctorado.

Metodología de la investigación Universidad de Cienfuegos -Cuba.

Posdoctorado. Nutrición Vegetal UNESP – Brasil.

✉ leonides.castellanos@unipamplona.edu.co

🌐 <https://orcid.org/0000-0001-9285-4879>

Alfonso Eugenio Capacho Mogollón

Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Pamplona

Zootecnista, Universidad de Francisco de Paula Santander

Magister en Gestión de la Calidad en Educación Superior Universidad de Pamplona

✉ aecapacho@unipamplona.edu.co

🌐 <https://orcid.org/0000-0002-0044-5566>

