POLICULTIVOS

Cultivos asociativos exitosos en tres municipios de Boyacá

Leónides Castellanos González
Harold Ignacio Bautista González
Gladys Montañez Acevedo

SELLO EDITORIAL
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

POLICULTIVOS

Cultivos asociativos exitosos en tres municipios de Boyacá

POLICULTIVOS
Cultivos asociativos exitosos en tres municipios de Boyacá

Autores

Harold Ignacio Bautista González
Leónides Castellanos González
Gladys Montañez Acevedo

GOBERNACIÓN DE Boyacá
Boyacá Avanza
Boyacá Agro POLICULTIVOS
Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
Vicerrectoría de INVESTIGACIONES UNIPAMPLONA

Policultivos. Cultivos asociativos exitosos en tres municipios de Boyacá / Harold Ignacio Bautista González, Leónides Castellanos Gonzáles, Gladys Montañez Acevedo -- Pamplona: Universidad de Pamplona; 2024

157 p. ; 17 cm x 24 cm.

ISBN (digital): 978-628-7656-52-9

© Universidad de Pamplona
Sede Principal Pamplona, Km 1 Vía Bucaramanga-
Ciudad Universitaria. Norte de Santander, Colombia.
Teléfono: 6075685303

Policultivos.
Cultivos asociativos exitosos en tres municipios de Boyacá

ISBN (digital): 978-628-7656-52-9
Primera edición, diciembre de 2024
Colección Ciencias Pecuarias y Agronomía
© Sello Editorial Unipamplona

Rector Universidad de Pamplona: Ivaldo Torres Chávez Ph.D.
Vicerrector de Investigaciones: Aldo Pardo García Ph.D

Autores:
Harold Ignacio Bautista González
Leónides Castellanos González
Gladys Montañez Acevedo

Jefe Sello Editorial Unipamplona: Caterine Mojica Acevedo
Corrección de estilo: Andrea del Pilar Durán Jaimes
Diseño y diagramación: Laura Angelica Buitrago Quintero

Ilustraciones realizadas con ayuda de *Inteligencia Artificial (IA)*

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

TABLA DE CONTENIDO

13
RESUMEN

15
ABSTRACT

17
PRÓLOGO

19
CAPÍTULO I
Introducción

23
CAPÍTULO II
Marco teórico

35
CAPÍTULO III
Metodología

57
CAPÍTULO IV
Resultados de la validación de los modelos asociativos en el municipio Soatá

85
CAPÍTULO V
Resultados de la validación de los modelos asociativos en el municipio Belén

115
CAPÍTULO VI
Resultados de la validación de los modelos asociativos en el municipio Panqueba

145
CAPÍTULO VII
Conclusiones

151
CAPÍTULO VIII
Referencias

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Modelo de policultivos propuestos 39
Tabla 2. Modelo de policultivos propuestos 41
Tabla 3. Modelo de policultivos propuestos 43
Tabla 4. Escala de rangos utilizados en Colombia para interpretación de los resultados de los análisis químicos de los suelos 46
Tabla 5. Escala de rangos de pH utilizados en Colombia para interpretación de los resultados de los análisis de suelos 47
Tabla 6. Variables morfométricas evaluadas en los diferentes modelos de Soatá 51
Tabla 7. Variables morfométricas evaluadas en los diferentes modelos de Belén 51
Tabla 8. Variables morfométricas evaluadas en los diferentes modelos ... 52
Tabla 9. Resultado del ajuste participativo de los modelos policultivos y monocultivos para los diferentes ciclos en el municipio de Soatá 57
Tabla 10. Comparación de las variables fisico-químicas del agua, antes y después, en el modelo del policultivo 1- Soatá 59
Tabla 11. Comparación de las variables fisico-químicas del agua, antes y después, en el modelo del policultivo 2- Soatá 60
Tabla 12. Comparación de las variables fisico-químicas del agua, antes y después, en el modelo del policultivo 3- Soatá 61
Tabla 13. Análisis de la comparación entre la parcela policultivo y la testigo (monocultivo) para las variables físico-químicas más importantes del suelo, para el modelo 1- Soatá, 2022 63
Tabla 14. Análisis de la comparación entre la parcela policultivo y la testigo (monocultivo) para las variables agroquímicas más importantes del suelo, para el modelo 2- Soatá 2022 64
Tabla 15. Análisis de la comparación entre la parcela policultivo y la testigo (monocultivo) para las variables agroquímicas más importantes del suelo, para el modelo 3- Soatá, 2022 65
Tabla 16. Resumen población (%) y variables morfométricas modelo 1 -Soatá 75
Tabla 17. Resumen población (%) y variables morfométricas modelo 2 -Soatá 75
Tabla 18. Resumen población (%) y variables morfométricas modelo 3 -Soatá 76
Tabla 19. Resultado del ajuste participativo de los modelos policultivos y monocultivos para los diferentes ciclos en el municipio de Belén 85
Tabla 20. Comparación de las variables fisico-químicas del agua, antes y después, en el modelo de policultivo 1- Belén 86

Tabla 21. Comparación de las variables fisico-químicas del agua, antes y después, del modelo de policultivo 2- Belén 88
Tabla 22. Comparación de las variables fisico-químicas del agua, antes y después, en el modelo de policultivo 3- Belén 89
Tabla 23. Análisis de la comparación entre la parcela policultivo y la testigo (monocultivo) para las variables fisico-químicas más importantes del suelo, para el modelo 1- Belén, 2022 90
Tabla 24. Análisis de la comparación entre la parcela policultivo y la testigo (monocultivo) para las variables fisicoquímicas más importantes del suelo, para el modelo 2- Belén, 2022 91
Tabla 25. Análisis de la comparación entre la parcela policultivo y la testigo (monocultivo) para las variables fisicoquímicas más importantes del suelo, para el modelo 3- Belén, 2022 93
Tabla 26. Resumen población (%) y variables morfométricas modelo 1 – Belén 103
Tabla 27. Resumen población (%) y variables morfométricas modelo 2 – Belén 103
Tabla 28. Resumen población (%) y variables morfométricas modelo 3 – Belén 104
Tabla 29. Resultado del ajuste participativo de los modelos policultivos y monocultivos para los diferentes ciclos en el municipio de Panqueba 115
Tabla 30. Comparación de las variables fisico-químicas del agua, antes y después, en el modelo de policultivo 1- Panqueba 116
Tabla 31. Comparación de las variables fisicoquímicas del agua, antes y después, en el modelo de policultivo 2- Panqueba 117
Tabla 32. Comparación de las variables fisicoquímicas del agua, antes y después, en el modelo de policultivo 3- Panqueba 118
Tabla 33. Análisis de la comparación entre la parcela policultivo y la testigo (monocultivo) para las variables fisico-químicas más importantes del suelo, para el modelo 1- Panqueba, 2022 120
Tabla 34. Análisis de la comparación entre la parcela policultivo y la testigo (monocultivo) para las variables fisicoquímicas más importantes del suelo, para el modelo 2- Panqueba, 2022 121
Tabla 35. Análisis de la comparación entre la parcela policultivo y la testigo (monocultivo) para las variables fisico-químicas más importantes del suelo, para el modelo 3- Panqueba, 2022 122
Tabla 36. Resumen población (%) y variables morfométricas modelo 1 -Panqueba 134
Tabla 37. Resumen población (%) y variables morfométricas modelo 2 -Panqueba 134
Tabla 38. Resumen población (%) y variables morfométricas modelo 3 -Panqueba 135

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa político municipio de Soatá 38
Figura 2. Mapa político municipio de Belén 40
Figura 3. Mapa político municipio de Panqueba 42
Figura 4. Abundancia de la macrofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá 67
Figura 5. Riqueza específica de la macrofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá 68
Figura 6. Abundancia de la mesofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá 68
Figura 7. Riqueza de la mesofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá 69
Figura 8. Poblaciones de actinomicetos del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá 70
Figura 9. Poblaciones de los microorganismos celulíticos del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá 71
Figura 10. Poblaciones microorganismos solubilizadores de fósforo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá 72
Figura 11. Poblaciones microorganismos fijadores de N en el suelo de las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá 73
Figura 12. Poblaciones de hongos en el suelo de las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá 73
Figura 13. Poblaciones de bacterias heterótrofas del suelo, en las fincas antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá 74
Figura 14. Situación de la incidencia de (*Taphrina deformans*) en el durazno en el monocultivo versus el policultivo del modelo 1: Durazno-Maíz-Frijol 77
Figura 15. Situación de la incidencia de (*Ascochyta*) en la arveja en el monocultivo versus el policultivo del modelo 2: Arveja-Maíz 78
Figura 16. Situación de la incidencia de *Helminthosporium* en el maíz en el monocultivo versus el policultivo del modelo 3: Maíz-Frijol-Arveja del municipio Soatá 79

Figura 17. Situación de la incidencia de *Spodoptera frugiperda* en el maíz en el monocultivo versus el policultivo del modelo 3 Maíz-Frijol-Arveja del municipio Soatá 80
Figura 18. Porcentaje (%) respuestas positivas conocimientos, Soatá, 2022 81
Figura 19. Puntajes promedio conocimientos sobre policultivos, Soatá, 2022 82
Figura 20. Abundancia de la macrofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Belén 94
Figura 21. Riqueza específica de la macrofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Belén 95
Figura 22. Abundancia de la mesofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Belén 96
Figura 23. Riqueza de la mesofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Belén 97
Figura 24. Poblaciones de actinomicetos del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Belén 98
Figura 25. Poblaciones de los microorganismos celulíticos del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Belén 99
Figura 26. Poblaciones microorganismos solubilizadores de fósforo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Belén 100
Figura 27. Poblaciones microorganismos fijadores de N en el suelo de las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Belén 101
Figura 28. Poblaciones de hongos en el suelo de las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Belén 101
Figura 29. Poblaciones de bacterias heterótrofas del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Belén 102
Figura 30. Situación de la incidencia de *Phytophtora infestans* en papa en el monocultivo versus el policultivo del modelo 1: Papa superior-Arveja 105
Figura 31. Situación de la incidencia de *Epitrix sp*. en papa en el monocultivo versus el policultivo del modelo 1: Papa superior-Arveja 106
Figura 32. Situación de la incidencia de *Phytophtora infestans* en papa, en el monocultivo versus el policultivo del modelo 2 Papa criolla-Arveja 107

Figura 33. Situación de la incidencia de *Epitrix sp.* en papa en el monocultivo versus el policultivo del modelo 2 Papa criolla-Arveja 108
Figura 34. Situación de la incidencia de *Helminthosporium* en el maíz en el monocultivo versus el policultivo el modelo 3 Maíz-Frijol 109
Figura 35. Situación de la incidencia de *Spodoptera frugiperda* en el maíz en el monocultivo versus el policultivo del modelo 3 Maíz-Frijol.. 110
Figura 36. Porcentaje (%) respuestas positivas sobre conocimientos agroecológico, Belén, 2022 112
Figura 37. Puntajes promedio conocimientos sobre policultivos, Belén, 2022 113
Figura 38. Abundancia de la macrofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba 124
Figura 39. Riqueza específica de la macrofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba 125
Figura 40. Abundancia de la mesofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba 126
Figura 41. Riqueza específica de la mesofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba 127
Figura 42. Poblaciones de actinomicetos del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba 128
Figura 43. Poblaciones de los microorganismos celulíticos del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba 129
Figura 44. Poblaciones microorganismos solubilizadores de fósforo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba 130
Figura 45. Poblaciones microorganismos fijadores de N en el suelo de las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba 131
Figura 46. Poblaciones de hongos en el suelo de las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba 132
Figura 47. Poblaciones de bacterias heterótrofas del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba 133
Figura 48. Situación de la incidencia de (Botrytis sp) en la cebolla monocultivo versus el policultivo del modelo 1: Cebolla-Frijol 136
Figura 49. Situación de la incidencia de (Trips) en la cebolla monocultivo versus el policultivo del modelo 1: Cebolla-Frijol 137

Figura 50. Situación de la incidencia de Taphrina deformans en el durazno en el monocultivo versus el policultivo del modelo 2: Durazno-Maíz-Frijol..... 138
Figura 51. Situación de la incidencia de *Spodoptera frugiperda* en el maíz en el monocultivo versus el policultivo del modelo 3: Maíz-Frijol-Arveja 139
Figura 52. Situación de la incidencia de Helminthosporium en el maíz en el monocultivo versus el policultivo del modelo 3: Maíz-Frijol-Arveja del municipio Soatá 139
Figura 53. Porcentaje (%) respuestas positivas conocimientos, Panqueba, 2022 141
Figura 54. Puntajes promedio conocimientos sobre policultivos, Panqueba, 2022 142

Resumen

El proyecto de investigación “Implementación de modelos agrícolas asociativos con policultivos tradicionales para el manejo económico y ambiental en el departamento de Boyacá” se orientó al desarrollo de prácticas culturales y agronómicas basadas en la asociación de especies transitorias, beneficiando a 12 familias productoras con vocación agrícola en 12 municipios, mediante pruebas pilotos en campo las cuales estuvieron fundamentadas en la creación y el diseño de modelos asociativos que promovieron la producción agrícola bajo parámetros sostenibles con el medio ambiente. El objetivo de esta publicación es dar a conocer el resultado de la validación técnica, económica y social de nueve modelos asociativos en los municipios: Soatá, Belén y Panqueba. La investigación se realizó aplicando una metodología cualitativa y cuantitativa de tipo experimental, con un diseño completamente aleatorizado en dos factores: el primer factor, corresponde al policultivo con tres niveles (tres tipos de modelos asociativos en cada municipio) y el segundo factor que concierne a la parcela monocultivo (testigo), con cuatro fincas por cada modelo que fueron las repeticiones; para un total de 12 fincas por municipio. Los resultados de la investigación en Soatá mostraron a nivel general, que la implementación de los modelos no alteró la composición fisicoquímica del agua para el riego agrícola, aunque disminuyeron los contenidos de amonio en el agua de riego. Las variables agroquímicas del suelo no presentaron mayor impacto, en relación a la parcela policultivo y testigo después del establecimiento de los cultivos. No hubo diferencia significativa en cuanto a población de plantas entre la parcela testigo y la parcela de policultivo en ninguno de los tres modelos en estudio. Teniendo en cuenta las mediciones de variables en la implementación de los modelos de policultivos, en el municipio de Soatá no se presentaron diferencias significativas para las variables morfométricas de los cultivos principales de los sistemas de cultivo dentro los modelos en estudio, sin embargo, se destacó por sus resultados el modelo 2: Durazno-Frijol-Maíz el cual presentó el mejor desarrollo y socialmente fue validado por los agricultores como el mejor a nivel fisiológico y económico. Del mismo modo, se observó un incremento significativo del conocimiento de los agricultores sobre agroecología como impacto social del proyecto y en particular, en las preguntas que indagaron sobre el efecto de los policultivos sobre las plagas y enfermedades, las malezas, y en relación al concepto de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades. Los resultados de la

investigación en el municipio de Belén mostraron que no se alteró la composición fisicoquímica del agua para el riego agrícola con la implementación de los modelos; aunque disminuyeron los contenidos de cobre y sodio en el agua, tampoco variaron en mayor medida las variables agroquímicas del suelo. No hubo diferencia significativa en cuanto a población de plantas entre la parcela testigo y la parcela de policultivo en ninguno de los tres modelos en estudio. Aunque no se presentaron diferencias significativas para las variables morfométricas de los cultivos principales en los sistemas de cultivo entre los tres modelos en estudio, se destacó por sus resultados el modelo 1: Papa Superior-Arveja el cual presentó el mejor desarrollo y socialmente fue validado por los agricultores como el mejor a nivel agronómico y económico. Del mismo modo, se observó un incremento significativo del conocimiento de los agricultores sobre agroecología como impacto social del proyecto y en particular en las preguntas que indagaron sobre el efecto de los policultivos sobre las plagas y enfermedades, las malezas, y en relación al concepto de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades. Los resultados de la investigación en el municipio Panqueba mostraron que no varió significativamente la composición fisicoquímica del agua para el riego agrícola; excepto la disminución de contenidos de hierro, cloruros y pH en el agua de riego. Las variables agroquímicas del suelo no presentaron mayor impacto, en relación a la parcela policultivo y testigo después del establecimiento de los cultivos. Tampoco hubo diferencia significativa en cuanto a población de plantas entre la parcela testigo y la parcela de policultivo en ninguno de los tres modelos en estudio para la implementación de los modelos de policultivos en el municipio y, aunque no se presentaron diferencias significativas las variables morfométricas de los cultivos principales en los sistemas de cultivo en ninguno de los tres modelos en estudio, se destacó por sus resultados el modelo 1: Durazno-Frijol-Maíz el cual presentó el mejor desarrollo y socialmente fue validado por los agricultores como el mejor a nivel agronómico y económico. Como impacto social del proyecto se consideró el incremento del conocimiento de los agricultores sobre agroecología y en particular en las preguntas que indagaron sobre el efecto de los policultivos sobre las plagas, enfermedades y las malezas, y en relación al concepto de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades.

Palabras clave: fincas, policultivos, validación agronómica y social.

Abstract

The research project "Implementation of Associative Agricultural Models with Traditional Polycultures for Economic and Environmental Management in the Department of Boyacá" was oriented towards the development of cultural and agronomic practices based on the association of transitory species, benefiting 12 producer families with an agricultural vocation. in 12 municipalities, through pilot tests in the field, which were based on the creation and design of associative models that promoted agricultural production under environmentally sustainable parameters. The objective of this publication is to present the result of the technical, economic and social validation of nine associative models in the municipalities of Soatá, Belén and Panqueba. The research was carried out applying a qualitative and quantitative methodology, of an experimental type, with a completely randomized design with two factors: the first factor corresponds to polyculture, with three levels (three types of associative models in each municipality) and the second factor concerns the monoculture plot (control), with four farms for each model that were the repetitions, for a total of 12 farms per municipality. The results of the investigation in Soatá, showed at a general level that the implementation of the models did not alter the physicochemical composition of the water for agricultural irrigation; although the ammonium contents in the irrigation water decreased. The agrochemical variables of the soil did not present a greater impact, in relation to the polyculture and control plot after the establishment of the crops. There was no significant difference in terms of plant population between the control plot and the polyculture plot in any of the three models under study. Taking into account the measurements of variables in the implementation of the polyculture models in the municipality of Soatá, there were no significant differences for the morphometric variables of the main crops in the cultivation systems between the three models under study, however it was highlighted for its results, model 2: Peach-Beans-Corn, which presented the best development and was socially validated by farmers as the best at a physiological and economic level. In the same way, a significant increase in farmers' knowledge about agroecology as a social impact of the project was observed, and in particular in the questions that inquired about the effect of polycultures on pests and diseases, on weeds, and in relation to the concept of Integrated management of pests and diseases. The results of the research in the municipality of Belén showed that the physicochemical composition of

the water for agricultural irrigation was not altered with the implementation of the models; although the copper and sodium contents in the water decreased, the agrochemical variables of the soil did not vary to a greater extent either. There was no significant difference in terms of plant population between the control plot and the polyculture plot in any of the three models under study. Although there were no significant differences in the morphometric variables of the main crops in the cultivation systems in any of the three models under study, model 1 stood out for its results: Superior Potato-Pea, which presented the best development and was socially validated. by farmers as the best at an agronomic and economic level. In the same way, a significant increase in farmers' knowledge about agroecology as a social impact of the project was observed, and in particular in the questions that inquired about the effect of polycultures on pests and diseases, on weeds, and in relation to the concept of Integrated management of pests and diseases. The results of the investigation in the Panqueba municipality showed that the physicochemical composition of the water for agricultural irrigation did not vary significantly; except for the decrease in iron, chloride and pH contents in the irrigation water. The agrochemical variables of the soil did not present a greater impact, in relation to the polyculture and control plot after the establishment of the crops. There was also no significant difference in terms of plant population between the control plot and the polyculture plot in any of the three models under study for the implementation of the polyculture models in the municipality and although there were no significant differences in the morphometric variables of the main crops in the cultivation systems in any of the three models under study, model 1 stood out for its results: Peach-Bean-Corn which presented the best development and was socially validated by farmers as the best agronomically and economically. As a social impact of the project, the increase in farmers' knowledge about agroecology was considered, and in particular in the questions that inquired about the effect of polycultures on pests, diseases and weeds, and in relation to the concept of Integrated Pest Management. and Diseases.

Keywords: farms, polycultures, agronomic and social validation.

PRÓLOGO

En la obra “Cultivos asociativos exitosos en tres municipios de Boyacá”, se compilan los resultados de un proyecto de investigación que buscó promover la producción agrícola sostenible en los municipios Belen, Panqueba y Soatá del departamento de Boyacá, Colombia. El proyecto se centró en la implementación de modelos de policultivos tradicionales, una práctica ancestral que ha demostrado ser beneficiosa tanto para el medio ambiente como para la economía de los agricultores.

En un mundo donde la agricultura industrializada ha causado estragos en nuestros ecosistemas y ha puesto en peligro la seguridad alimentaria, la agroecología emerge como una alternativa viable y necesaria. Los policultivos, al diversificar los cultivos y fomentar las interacciones naturales entre las plantas, ofrecen una solución a muchos de los problemas que aquejan a la agricultura moderna.

Este proyecto no solo se limitó a la implementación de técnicas agrícolas, sino que también buscó empoderar a las comunidades locales a través de la investigación participativa y las Escuelas de Campo para Agricultores (ECAs). Este enfoque participativo era fundamental para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de estas prácticas agroecológicas, ya que son los propios agricultores quienes conocen mejor sus tierras y sus necesidades.

Los resultados de este proyecto son alentadores. Los modelos de policultivos implementados no solo demostraron ser económicamente viables, sino que también tuvieron un impacto positivo en la calidad del agua y del suelo, así como en la biodiversidad de los agroecosistemas. Además, el proyecto contribuyó a aumentar el conocimiento de los agricultores sobre la agroecología y sus beneficios.

Esta publicación evidencia el papel protagónico de la Universidad de Pamplona (Ejecutora) junto a la Gobernación de Boyacá (Financista) en el agro colombiano y constituye un testimonio del arduo trabajo y la dedicación de los agricultores, técnicos y profesionales que participaron en este proyecto por llevarlo a feliz término. Esperamos que sirva de inspiración para otros proyectos similares y que contribuya a la transición hacia una agricultura más sostenible y equitativa en Colombia y en el mundo.

El libro contiene 8 capítulos: Los tres primeros corresponden a la introducción, marco teórico, y metodología. En los tres siguientes se presentan los resultados de la validación de los modelos asociativos para los municipios Belén, Panqueba y Soatá. Los últimos dos capítulos son conclusiones de los modelos más exitosos por municipios y la bibliografía.

Ph.D. Aldo Pardo García
Vicerrector de Investigaciones
Universidad de Pamplona

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

La agroecología utiliza un conjunto de técnicas y conocimientos desarrollados por los productores agropecuarios en sus fincas a partir de la experiencia campesina. Por ello, se enfatiza en las tradiciones comunitarias en cada localidad para observar, evaluar y experimentar en sus predios y mejorar sus competencias de innovación por medio de la investigación campesina, trasmitiendo sus experiencias con la utilización de herramientas del extensionismo horizontal con el método agricultor-agricultor. De igual forma, las prácticas agroecológicas propenden transformar los sistemas agropecuarios de producción del tipo agroindustrial, por medio de una transición paulatina a otro tipo de sistema alimentario sin el uso del petróleo, maquinarias pesadas y agrotóxicos y no tan especializados en la producción de productos para la exportación y la producción de biocombustible, o sea, que promueve el cambio hacia un paradigma alternativo que potencia la agricultura local y en general, la producción de alimentos a nivel nacional, sustentada por la producción de pequeños agricultores con sus familias tanto en zonas rurales como urbanas con procesos innovativos que maximicen el uso recursos locales, la energía alternativa eviten el empleo de insumos externos (Altieri y Toledo, 2010)

El modelo convencional de producción agrícola está basado en una elevada dependencia de energía fósil e insumos externos, utiliza de manera indiscriminada y masiva, gran cantidad de insumos externos hace un uso irracional de agroquímicos que perjudica la salud humana, genera además un gran impacto medioambiental degradando los suelos, contaminando el agua y produce la pérdida de biodiversidad, por lo que simplifica el agro-ecosistema. Por lo tanto, se realiza un uso ineficiente de los recursos naturales; lo que conlleva impactos medioambientales y socioculturales de gran magnitud. Casi la cuarta parte de las emisiones de los denominados gases de efecto invernadero se derivan de la actividad agrícola, provocada por el uso del monocultivo y la deforestación, que se asocian con el proceso de la expansión de la agricultura hacia zonas vírgenes. Por ello, se ha

comprobado que la agricultura convencional no es sostenible; es incapaz de alimentar al mundo, es responsable de la pérdida cada vez mayor de la biodiversidad y en general, contamina, los suelos, las aguas y el aire; por otra parte, afecta a la salud de las personas de forma muy diversa. Se requiere por lo tanto un modelo de producción agropecuaria alternativo (Tittonell, 2013)

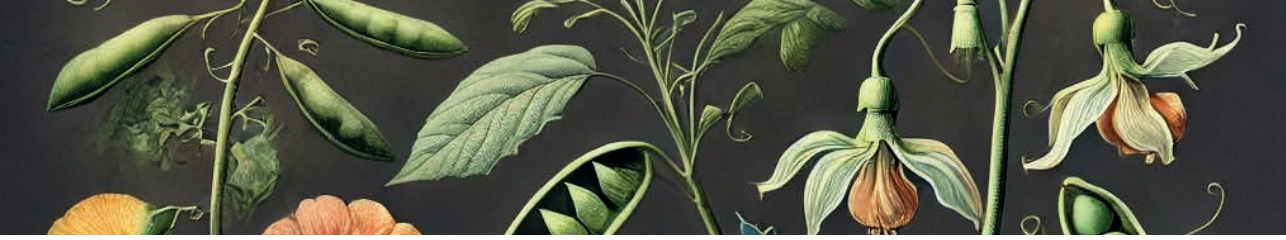
Resolver el problema de la pobreza y la inseguridad alimentaria son anhelos difíciles de alcanzar pasa casi mil millones de habitantes en el mundo. La inequidad en la repartición del ingreso, el acceso a la tierra, al agua, las semillas y otros insumos, la pobreza y el hambre, así como el deterioro ecológico; son problemas sistémicos y cobran cada vez mayor intensidad a escala global (Altieri y Toledo, 2010). La vulnerabilidad sin límites del modelo convencional se debe, en buena medida, a la baja diversidad de los agroecosistemas y a la reducción implícita de la biodiversidad agrícola, vegetal y animal (Tittonell, 2013, 2010)

En contexto, se puede concluir, que el empleo de la agroecología debe encaminarse aún más al uso de prácticas agroecológicas que permitan el desarrollo de los agroecosistemas en todas sus dimensiones y propiedades, con el uso racional y mínimo de agroquímicos y el otorgamiento de subsidios para el uso de fuentes de energía renovables. Se propende conformar sistemas agrícolas complejos en los cuales las propias interacciones del ecosistema y las sinergias entre todos los componentes biológicos permitan mecanismos de autorregulación para la conservación la fertilidad del suelo y de todos los recursos naturales con el incremento de su productividad, estabilidad, equidad y resiliencia (Altieri y Toledo, 2010)

La región central de la cordillera oriental que conforma la región andina colombiana incluye los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, entre otros; los cuales comprenden altiplanicies entre 2000 a 3000 msnm, donde se extiende la continuación de la sabana de Bogotá (Acevedo, 2020). El departamento de Boyacá cuenta con una extensión de 23.189 kilómetros cuadrados, organizados en 13 provincias, que presentan variados pisos térmicos (Plan de Desarrollo 2020-2023), por ello es conocido como una de las zonas productoras de alimento de la región andina; además, presenta una de las mayores reservas en especies forestales nativas y adaptadas que, en parte, conforman el complejo de páramos que cubren el 24% del

territorio colombiano. La región está caracterizada por la gran oferta agrícola, con diversidad de cultivos, suelos fértiles altamente productivos y cubiertos de reservas forestales, acorde con los informes publicados por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (Boyacá Agro, 2018)

De esta manera, desde el año 2019 se llevó a cabo el proyecto de investigación “Desarrollo estratégico agroecológico para el fortalecimiento del sector productivo en el departamento de Boyacá”; el cual se extendió y en consecuencia, se adelantó el proyecto: Implementación de modelos agrícolas asociativos con cultivos tradicionales para el manejo económico y ambiental en el departamento de Boyacá, el cual propuso el establecimiento de 36 modelos agroecológicos en los municipios Belén, Aquitania, Busbanzá, Garagoa, Cómbita, Panqueba, Jenesano, San José de Pare, Pesca, Soatá, San Pablo de Borbur y Tibasosa, enmarcados en adecuación de predios, siembras, nutrición, diagnóstico, manejo de plagas y enfermedades; prácticas agroecológicas, impacto social, entre otros. Esta publicación tiene como objetivo ofrecer los resultados de la validación económica y social de nueve modelos asociativos en tres de los municipios participantes en el proyecto Soatá, Belén y Panqueba.



CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

Los sistemas agropecuarios convencionales suministran grandes cantidades de productos alimenticios a los mercados globales, sin embargo, realizan una utilización intensiva de los recursos con un componente muy alto de insumos externos, lo que ha han producido un aumento de la deforestación, la pérdida de la biodiversidad, la escasez de agua, el agotamiento del suelo y ha aumentado los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero. No obstante, no ha resuelto la disminución del hambre y la extrema pobreza a nivel mundial que continúan como reto para el desarrollo de la humanidad. En muchos países - aunque a veces se ha reducido la cantidad de pobres- se mantienen las desigualdades; lo que constituye un obstáculo para la erradicación del flagelo de pobreza.

La agroecología, componente esencial de la visión de la FAO para el desarrollo de una agricultura sustentable, es un principio esencial en la respuesta del mundo a este problema de inestabilidad y seguridad alimentaria y se considera que ofrece un planteamiento integrador y capaz de hacer frente a la creciente necesidad de alimentos actual y futura. La agroecología propende un enfoque sistémico y holístico, donde se aplican al mismo tiempo principios ecológicos y sociales para diseñar la gestión de los sistemas agropecuarios. Tiene como finalidad optimizar y maximizar las interacciones entre la biodiversidad vegetal y animal, el medio ambiente y el hombre, considerando los aspectos socioculturales que deben ser abordados para el logro de un sistema agroalimentario justo y sostenible. Esta tiene su historia y sus antecedentes desde la década de 1920, y se ha puesto en práctica por los agricultores en muchos movimientos populares y sociales que han luchado en aras de la sustentabilidad y de la mejora de políticas públicas, de distintas zonas geográficas del planeta. También se ha integrado, las sugerencias dadas recientemente por muchas instituciones internacionales (FAO, 2018)

Con el fin de dar orientaciones a los países para que realicen transformaciones en sus sistemas agropecuarios, sistematicen la

agricultura sustentable a mayor escala y se logre el desafío de reducir el Hambre a Cero y muchos otros Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En los muchos talleres de la FAO relacionados con la agroecología se propusieron diez principios (FAO, 2018): la diversidad, la resiliencia, la eficiencia, el reciclaje, la economía circular y solidaria, la cultura y tradiciones alimentarias, la gobernanza responsable, las sinergias, los valores humanos y sociales, y la creación conjunta y el intercambio de conocimientos. Estos diez principios de la agroecología son interdependientes y están interrelacionados.

Los diez elementos constituyen una plataforma analítica que puede servir de guía a los países para implementar la agroecología. Así se podrá hacer la determinación de propiedades más relevantes de los sistemas y enfocarlos hacia la reconversión agroecológica, teniendo en cuenta los elementos clave para el cambio hacia el nuevo paradigma agroecológico en un entorno más favorable para el trabajo. Estos diez elementos constituyen una herramienta para hacer la formulación de las políticas a los decisores, para organizar mejor a los especialistas al momento de hacer la gestión, planificación y evaluación de las actividades encaminadas para lograr el tránsito hacia una agricultura agroecológica.

Agroecosistemas y biodiversidad

Las actividades agrícolas, aunque esenciales para el ser humano, son prácticas que afectan la biodiversidad de las tierras agrícolas y al entorno agrícola (Halada et al., 2011). Las relaciones entre el uso de la tierra y la biodiversidad son fundamentales para comprender los vínculos entre las personas y su entorno. Además, la biodiversidad es una propiedad vital de los sistemas ecológicos, proporciona servicios y cumple funciones reguladoras en los ecosistemas, además, es uno de los principios básicos de la agricultura sostenible. Los cambios de biodiversidad generados en los sistemas agrícolas son ocasionados principalmente por las alteraciones en la cobertura durante el uso del suelo y están directamente relacionados con la agrobiodiversidad (Kazemi et al., 2018). La obtención de agroecosistemas sustentables requiere el mantenimiento de la conservación y restauración de la biodiversidad agrícola que lleva por nombre agrobiodiversidad (Corrado et al., 2019).

La agrobiodiversidad es un subtipo de la biodiversidad y representa la diversidad biológica de los agroecosistemas, con un papel fundamental en el mantenimiento de los cultivos (Signore et al., 2019). La agrobiodiversidad se caracteriza por la interacción socio-ecológica que generan dinámicas de selección natural e involucra reconfiguraciones territoriales y de adaptación (Acevedo et al., 2020).

Sin embargo, también debe comprenderse como un concepto integral que relaciona la variabilidad de animales, plantas y microrganismos, esenciales para la agricultura en compleja interacción con los componentes bióticos y abióticos (Kazemi et al., 2018; Corrado et al., 2019). Aun así, los servicios de la agrobiodiversidad en los ecosistemas, al parecer está influenciado por el área de las fincas, pues el tamaño influye en las posibilidades de mantener espacios de biodiversidad. Las fincas más pequeñas hacen un uso más intensivo del suelo basados en la preservación de la agrobiodiversidad, pero el espacio destinado a la biodiversidad es limitado (Acevedo et al., 2020).

Los policultivos

Los policultivos son sistemas de siembra que se caracterizan por tener asociaciones de cultivos, son conocidos también como cultivo mixto, cultivo intercalado o co-cultivo. En los trópicos, los policultivos son una tradición milenaria empleada por indígenas y campesinos desde tiempos inmemoriales. La experiencia en el desarrollo de policultivos en el tiempo y el espacio son diversas y se caracterizan por la adaptabilidad a los diferentes entornos (Giraldo et al., 2011). En la actualidad los policultivos se establecen porque son más eficientes en la producción de cultivos y/o para mejorar los ingresos económicos. Han recibido atención debido el aprovechamiento de espacio y servicios ambientales que ofrecen como el aumento del suministro de semillas y los beneficios sobre la condición física de los suelos (Gómez et al., 2014). Además, tienen varios beneficios como la protección del suelo contra la erosión hídrica y eólica, la estabilización de la temperatura del suelo, el depósito de agua en el perfil del suelo, la fertilización del suelo, la actividad biológica y características físicas del suelo (Adamczewska , 2020).

A nivel mundial, los agricultores que adoptan un sistema de policultivo se enfocan en hacer un aprovechamiento eficiente de la tierra, con importancia en los predios pequeños que son los que presentan condiciones socioeconómicas y de producción sujetas a la superficie

de tierra que se puedan preparar, limpiar y desmalezar (fundamentalmente con labores manuales) en un periodo de tiempo determinado (Liebman, 1997).

Servicios ecosistémicos de los policultivos

La agricultura de monocultivo se identifica por emplear prácticas agrícolas que no promueven el mantenimiento de la biodiversidad en las tierras agrícolas (Yahya et al., 2017). Contrario a lo que sucede con los monocultivos, los sistemas agrícolas en policultivos imitan la función y estructura de los ecosistemas naturales; se caracterizan por presentar alta diversidad de especies con un suelo más biológicamente activo, lo que favorece el manejo de plagas, la nutrición vegetal y una mayor cobertura del suelo, que previene contra las pérdidas de humedad y recursos edáficos (Salgado, 2015).

Los policultivos se caracterizan por secuestrar más CO_2 de la atmósfera que los monocultivos, el cual se almacena en la materia orgánica del suelo y ayuda a disminuir el gas de efecto invernadero, además, el sistema de producción tiene una resistencia alta a las perturbaciones, se aprovecha mejor la extensión de suelo en producción, las cosechas no se obtienen de forma simultánea, lo que permite que el agricultor controle mejor los tiempos y se hace un uso mucho más eficiente de la iluminación, el agua y los nutrientes existentes (Ebel et al., 2017).

El éxito de los policultivos se basa en la tecnología natural que aplica el conocimiento para aprovechar los procesos naturales como insumos, un ejemplo a resaltar es la preservación de la fertilidad natural de suelo y el control biológico de plagas (Salgado, 2015). No obstante, los policultivos deben ser establecidos y manejados de forma controlada, pues además de inconvenientes como la baja mecanización y la falta de expertos en el área, se debe controlar minuciosamente los diseños de siembra, ya que las interacciones alelopáticas disminuyen el rendimiento y la productividad y las condiciones de siembra incrementa la humedad relativa, generando la posibilidad de aumentar la presencia de hongos patógenos (Ebel et al., 2017).

Diseños espaciales de los policultivos

En la producción de los policultivos se reconoce que los agricultores promueven formas de producción con diferente complejidad en las combinaciones entre los cultivos y los arreglos espaciales (Flores et al., 2012); esto puede aumentar la heterogeneidad del hábitat e influir en el aumento de la diversidad florística y crear estructuras de vegetación más variable (Ghazali et al., 2016). En múltiples sitios de los Andes se han encontrado diversas combinaciones de frijoles con otros cultivos como zapallo, así como combinaciones de maíz y papas con yuca, hortalizas y otras legumbres. Las variedades y combinaciones empleadas están articuladas con la altura, las redes comunitarias agrícolas, las prácticas culturales rituales y los beneficios económicos (Rojas, 2009).

En cuanto a los arreglos espaciales de los policultivos existen diferentes patrones de producción, por ejemplo, en modalidades de asociación intercalación, plantaciones complementarias, cultivos en callejones, cultivos intercalados en relevos, mantillos vivos, entre otros (Flores et al., 2012; Adamczewska y Sowiński, 2020). Entre los diferentes métodos de siembra, los mantillos vivos tienen más diferencia a los patrones de policultivo. El sistema se basa en un cultivo mínimo de dos cultivos, en los que uno se siembra y constituye el cultivo cosechado (cultivo principal), mientras que el segundo se siembra debajo del cultivo principal como cultivo de cobertura (Adamczewska y Sowiński, 2020).

Hay variados elementos a tener en consideración en el momento de planificar los diseños espaciales de los agroecosistemas (Sarandón, 2020):

1. La forma y el tamaño de las formaciones seminaturales y la composición de especies vegetales.
2. La forma y el tamaño de las parcelas que están llevadas a cultivo.
3. El tipo de asociación de los cultivos.
4. La forma y capacidad de movimiento de polinizadores y biorreguladores naturales.

Cada uno de estos elementos presenta características que deben ser evaluadas de acuerdo con las necesidades de cada región, área y tipo de producción, pues los insectos se pueden favorecer o dificultar el

ingreso de los organismos benéficos a los cultivos. Por ejemplo, formas cuadradas mayores a 1 hectárea dificultan la llegada de los organismos benéficos o en los artrópodos caminadores se destaca la distancia como limitante para la captura de presas (Sarandón, 2020).

Efecto de los policultivos sobre las plagas

La producción en policultivo es una práctica agrícola considerada superior al monocultivo para mantener la diversidad de artrópodos terrestres (Ghazali et al., 2016). En los policultivos una mayor diversidad indica mayor estabilidad de las comunidades, refleja una probabilidad menor de brotes de plagas, cadenas tróficas más largas y un mayor porcentaje de enemigos naturales (León et al., 2001). Los policultivos poseen condiciones intrínsecas (diversidad de refugio y alimentos) que favorecen a los biorreguladores. Por ello, las características como la altura, el tiempo de floración y maduración, así como el tipo de combinaciones puede incrementar o disminuir los efectos sobre las plagas; por lo que es importante ejercer cambios en la diversificación de los hábitats que mejoren el incremento y eficacia de los biorreguladores (Nicholls et al., 2020).

Para la caracterización espacial de la biodiversidad se identifican patrones de riqueza específica conocidos como Alfa, Beta y Gamma. La diversidad tipo Alfa es la riqueza dentro de un área de referencia local (ambiente seminatural o parcela cultivada). Se denomina diversidad Beta a la tasa de recambio de las especies entre los hábitats dentro de Alfa diversidades (distintas parcelas de cultivo). Se hace referencia a la diversidad Gamma como a la riqueza total de las especies dentro de una unidad espacial mayor (un paisaje o un agroecosistema) y está caracterizada por contener los tipos de diversidades Alfa (Stupino et al., 2014). El conocimiento de la distribución espacial de la biodiversidad y la abundancia de los recursos alimenticios facilita el diseño de estrategias para el manejo de insectos dentro de los policultivos empleando hipótesis existentes sobre los biorreguladores (Nicholls y Altieri, 2002).

Así mismo, hay varios factores que juegan un rol importante para que los policultivos limiten el ataque de plagas: la protección por la presencia física de otro cultivo de mayor tamaño que actuaría como barrera o camuflaje o los estímulos químicos que emiten ciertos tipos de plantas (Nicholls y Altieri, 2002; Nicholls et al., 2020). Otro factor

importante es la intensidad agrícola, habitualmente una intensidad agrícola baja proporciona un entorno paisajístico con características que benefician tanto la producción de descendientes como la composición de especies (Baños-Picón et al., 2012). En general, los recursos alimenticios, el refugio y los enemigos naturales ayudan a equilibrar las plagas y evitan que preponderen densidades económicamente intolerables de plagas (León et al., 2001).

Un estudio comparativo realizado en seis escenarios agrícolas de policultivo (cultivo mixto de hortalizas) y monocultivo (viñedo y cereal) de baja y alta intensidad agrícola, mostró que los policultivos favorecen la producción de descendencia en insectos como las abejas nidoras. Las poblaciones de abejas, especialmente las especies polilécticas, se pueden beneficiar de los rasgos del policultivo, que proporcionan recursos abundantes y diversos tanto en el espacio como en el tiempo (Baños-Picón et al., 2012).

En otras investigaciones se han evaluado la relación depredador-presa, y se confirmó que las condiciones climáticas como la época de lluvia afecta la dinámica del ecosistema. También se comprobó que, en el ecosistema del llano, en la época de lluvia, las parcelas de policultivos muestran valores superiores de depredadores que regulan las plagas en comparación a las parcelas de monocultivo (García et al., 2015).

Características del suelo en los policultivos

El suelo es un requisito previo esencial para proporcionar los servicios del crecimiento y desarrollo de las plantas agrícolas (Ouyang et al., 2017). La agricultura de policultivo es parte de una estrategia que aumenta la diversidad florística y da soporte a la complejidad estructural que sustenta la biodiversidad (especialmente el suelo) (Yahya et al., 2017). En una parcela pequeña (poca superficie) dedicada a la agricultura de tipo campesina, se tendrán formas de vida más variable que en superficies mayores dedicadas a la producción de monocultivos. Esta característica está influenciada por el método de producción basado en la explotación consciente y racional de los recursos disponibles naturalmente en el ecosistema por parte de los productores (Rojas, 2009).

El suelo es un elemento que se relaciona con las dinámicas de la biodiversidad y se afecta de manera diferente entre las diversas

formas de producción agrícola. Investigaciones con la evaluación de los cambios en las propiedades químicas y físicas después de 22 años de producción en monocultivos, mostró efectos como pérdida del 60 % de la estabilidad del suelo y disminución de 84 % de la conductividad eléctrica (Moebius-Clune et al., 2011).

En las propiedades inherentes al suelo hay una tendencia especial hacia la textura del suelo que representa el cambio de este. En este, los contenidos de limo y arcilla cambian de acuerdo con la producción que se mantenga en la parcela. En general, el contenido de arcilla parece aumentar en las áreas con más tiempo de producción en monocultivo (maíz), mientras que el contenido de limo parece disminuir en las áreas de producción donde más se aplicaron procesos de siembra en policultivos. Esto indica que, las texturas fueron más finas en sitios que muestran tiempos prolongados con un mismo cultivo (Moebius-Clune, 2011).

Se identifica que un policultivo tipo intercalado tiene el potencial de integrar beneficios ecológicos y económicos (Mishra, 2011). Los beneficios ecológicos de los policultivos (intercalado) en el suelo en comparación con el cultivo único, es la disminución de la escorrentía y la disminución de la erosión y los beneficios económicos debido a la baja presión sobre el suelo (Ouyang et al., 2017).

Economía de la producción en policultivos

En los policultivos generalmente, los beneficios económicos dependen del equilibrio entre la reducción de los costos en el manejo de las plagas y las malezas y los costos ocasionados con el mantenimiento de los policultivos, en conjunto con el aumento o disminución en el rendimiento del cultivo principal. Generalmente, para los agricultores de pocos recursos que no pueden darse el lujo de arriesgarse, la adopción de policultivos con una diversidad alta probablemente constituye la mejor opción económica. Sin embargo, durante la producción es necesario realizar análisis agroeconómicos porque los cultivos tienen variaciones de precio (según época del año) y el costo de producción puede confirmar el éxito o fracaso de los cultivos (Oliveira et al., 2017).

La ganancia asociada a la producción agrícola puede incrementarse si en las plantaciones se favorece el equilibrio entre los ingresos y los costos de los agricultores. Para una adecuada toma de decisiones

sobre el uso del policultivo, es importante que se evalúen los datos económicos como el rendimiento financiero y no solo los datos agronómicos. Para la valoración, se evalúan parámetros agronómicos como la eficiencia económica, los ingresos (R), los costos agrícolas (C) y la relación R/C. La relación de producción R/C mide el nivel de rentabilidad relativa de las actividades agrícolas; esto significa que R/C puede describir la rentabilidad de la producción (Oliveira et al., 2017).

Evaluación de los beneficios de los policultivos

Los rendimientos alcanzados en el cultivo de dos o más plantaciones (policultivos- cultivos intercalados) es evaluado mediante los análisis del uso equivalente de tierra (UET) conocido en inglés como “land equivalent ratio” (LER); se calcula al dividir el rendimiento del policultivo sobre el rendimiento del monocultivo de mayor valor económico (Gliessman, 2002).

Se puede entender que si un UET > 1,0, el policultivo tiene mayor productividad que el monocultivo de cada cultivo, es decir, que se obtendría un mayor rendimiento cultivando y la ventaja de producción es conocido como sobre rendimiento; si el UET < 1,0 indica que la asociación genera desventaja en los cultivos asociados y si el UET = 1,0 indica que no hay diferencias entre el policultivo y los monocultivos (Ruiz-González y Victorino-Ramírez, 2015; Núñez et al., 2021).

Al realizar los análisis de producción, el UET se debe medir de forma parcial (cada uno de los cultivos que conforman el policultivo) y de forma total. Así, cuando al menos un miembro de la combinación es mayor a 1,0 hay una evidencia fuerte de que las interacciones de cultivos generen una interferencia negativa mínima. Cuando el UET total < 1,0 indica una interferencia negativa que se enfatiza, si el resultado parcial disminuye igual e implica desventaja en el rendimiento del policultivo comparado con el monocultivo (Gliessman, 2002).

Casos exitosos

Hay diversos trabajos de investigación y experiencias de productores que destacan los buenos resultados de la producción de policultivos. En el municipio de Tequila localizado en el estado de Jalisco (México), se comparó el agroecosistema monocultivo con el policultivo en la

producción de *Agave tequilana* Weber mediante una encuesta a 25 productores. Entre los productores, la razón para intercalar otros cultivos es la obtención de alimentos para el consumo humano y ganado (28 %); solo consumo humano (20 %) o solo para consumo de ganado (16 %). No obstante, las prácticas de producción en policultivo demostraron el incremento de las labores agronómicas, aun así, se concluyó que el agroecosistema tradicional con policultivo era más sustentable debido a precisamente al alto índice de las prácticas agroecológicas (Herrera-Pérez et al., 2017).

En Villaflores, Chiapas (México), se evaluó un diseño de bloques al azar de los monocultivos de frijol, maíz y Jamaica y los policultivos de Jamaica-frijol-maíz, jamaica-maíz, maíz-frijol y Jamaica-frijol, con una distribución espacial entre surcos y plantas ajustadas de acuerdo con el cultivo. Se obtuvo que el mejor rendimiento fue de Jamaica fresco y seco cuando estaba asociada con frijol y maíz, además esta misma combinación fue 92 % más eficiente en cuanto al UET en los monocultivos de Jamaica (89 %), frijol (16 %) o maíz (43 %) (Ruiz-González y Victorino-Ramírez, 2014).

En la Finca Experimental Rafael Fernández, ubicada en la Universidad Federal Rural do Semi-Árido (Mossoró, Brasil), se realizó un experimento de producción en policultivo empleando diferentes combinaciones de los cultivos rúcula, zanahoria y lechuga como los cultivos componentes del policultivo. Los resultados del análisis de la relación equivalente de tierra del policultivo (LER) y el Índice de Eficiencia Productiva (PEI) mostraron que el mejor uso de los recursos ambientales (luz, agua, nutrientes y CO_2) se obtenía en el sistema de cultivos intercalados con relación al monocultivo (Oliveira et al., 2017).

En Brasil, también se evaluó un sistema de policultivo orgánico compuesto por maracuyá, piña, maíz y mandioca, realizado en la región amazónica bajo un diseño de bloques completos al azar en parcelas de 3 m con hileras de maracuyá y subparcelas de piña, maíz y mandioca. Se encontró que la productividad de maracuyá y piña mejoraron en un 72 y 34%, respectivamente, pero el rendimiento de otros cultivos como la mandioca se redujo significativamente (Araújo et al., 2014). Estos resultados demuestran cómo la productividad y el rendimiento puede afectarse positiva o negativamente entre los diferentes cultivos ensayados. Sin embargo, para el cultivo principal del monocultivo los resultados fueron positivos en el policultivo.

En Colombia también se han realizados investigaciones con resultados exitosos en la producción de policultivos. En Lorica, Córdoba, se realizó un diseño experimental en bloques completamente al azar con diferentes proporciones de semilla de patilla-maíz y sus respectivos monocultivos. Se observó que el mejor rendimiento en la producción de patilla fue el tratamiento con una proporción de semilla patilla-maíz 1:1 y en el caso del maíz el mejor rendimiento fue del monocultivo. Esto demuestra que para el maíz los rendimientos son dependientes a la densidad de siembra. Adicionalmente, cuando se evaluó LER se observó que los tres policultivos fueron más eficientes que los monocultivos, indicando que el asocio de patilla y maíz en cultivos comerciales es una opción viable que podría generar altos ingresos económicos (Banda et al., 2004).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA

El proyecto de investigación “Implementación de modelos agrícolas asociativos con cultivos tradicionales para el manejo económico y ambiental en el departamento de Boyacá”, se orientó al desarrollo de prácticas culturales y agronómicas basadas en el trabajo participativo con los agricultores, beneficiando a 48 familias productoras con vocación agrícola en los municipios de Soatá, Belén y Panqueba, donde se realizaron las parcelas de investigación; las cuales estuvieron fundamentadas en la implementación de modelos de policultivos que propendieran la producción agrícola bajo parámetros más sostenibles y amigables con el medio ambiente.

En cada municipio se generó un trabajo con 12 familias beneficiarias campesinas ubicadas en 6 veredas. En el desarrollo del proyecto se hizo un acompañamiento orientado por los técnicos y profesionales, que ayudaron a realizar un trabajo en conjunto de la mano de los agricultores para la toma, recolección y análisis de datos en las parcelas experimentales propuestas.

De tal forma, se propusieron tres modelos por municipio para testigo de (0,5 ha) y policultivo (0,5 ha); se distribuyeron 4 familias por modelo, los cuales ayudaron a entender las diversas interacciones de los agroecosistemas evaluados con el fin de generar innovaciones agroecológicas que permitieron hacer resilientes los sistemas productivos. En la parcela policultivo y testigo, se establecieron cultivos (permanente, semipermanente y transitorio) con el constante trabajo de investigación y experimentación de prácticas agroecológicas.

Dentro de los modelos policultivos y testigo se desarrollaron análisis edafoclimáticos, manejo integrado de enfermedades e insectos, análisis químico-físico de suelos, calidad fisicoquímica del agua y actividades de investigación participativa por medios de Escuelas de Campo para Agricultores (ECAs), donde a través del “aprender

haciendo" se logró conocer el entorno socioambiental de los territorios.

Diseño experimental

El enfoque del proyecto comprendió la valoración de los cultivos implementados en el territorio, la validación de modelos agrícolas asociativos para producción de cultivos promisorios y la identificación de la cadena de valor de los mismos, para esto el diseño de la validación de los modelos fue de tres diseños experimentales (cada municipio) completamente aleatorizados con 3 niveles (modelos de policultivos) que contaron con dos parcelas y se consideraron las siguientes variables independientes así:

- *Modelos de policultivos (3 por municipio).*
- *Parcela (La parcela tuvo dos niveles: parcela policultivo y parcela monocultivo en cada uno de los ciclos).*
- *Fincas: Las unidades productivas que se consideraron como repeticiones (microclima) (4 en cada municipio), las cuales no estaban concebidas como variables independientes sino como repeticiones.*

Una vez que se sembraron los cultivos, se recogió la información mensual de todas las variables de las actividades agronómicas, de nutrición vegetal, sanidad vegetal, indicadores de incidencia de plagas y enfermedades y de desarrollo fenológico de los cultivos, actividades de riego y prácticas agroecológicas implementadas, tales como:

- ***Variables de plantación y siembra.*** *Fecha de siembra y porcentaje de población con una frecuencia mensual.*

- ***Variables de nutrición vegetal.*** *Labores de enmiendas y fertilización química u orgánica que se realizan por cultivo/parcela/finca.*

Variables de sanidad vegetal

Relación de todas los tratamientos químicos, biológicos y alternativos que se realizan por cultivo/parcela/finca

- *Variables de Monitoreo de plagas y enfermedades.*
- *Incidencia de las plagas y enfermedades (%).*
- *Severidad de las plagas y enfermedades ((% o individuos por órgano o planta).*
- *Frecuencia quincenal para los cultivos transitorios; mensual para semiperennes o perenes.*

Se realizó el análisis de datos estadísticos recopilados para determinar diferencias entre los tratamientos y modelos por municipio; se hizo un análisis de varianza y cuando se detectaron diferencias estadísticamente significativas se realizaron pruebas de comparación múltiple (test de Tukey al 5 % de probabilidad de error), además, se emplearon los softwares estadísticos SPSS y R.

Se realizaron cortes transversales y longitudinales para los análisis estadísticos descriptivos a todas las variables. Los ANOVA fueron mono factoriales y bifactoriales en dependencia de la variable y las mediciones tomadas.

La relación de las variables respuesta con las variables de condiciones agroecológicas u otras que se obtuvieron, se establecieron mediante un análisis multivariado. Estos fueron por clasificación automática, componentes principales y otro, según tipo de variable y las mediciones realizadas.

Los modelos matemáticos se construyeron con las variables que presentaron mayor correlación con las variables respuesta y se ajustaron de acuerdo con el comportamiento de los datos; si los mismos presentaban linealidad con la variable respuesta se empleó una regresión lineal múltiple, de lo contrario se trabajó la regresión no lineal.

Se utilizaron otros tipos de análisis en dependencia de las características de las variables y el cumplimiento del supuesto de normalidad como: CHI cuadrado, Modelo de Poison, Prueba de Kruskal Wallis, comparación de proporciones, etc.

Generalidades de cada municipio
Generalidades del municipio Belén

Soatá es capital de la provincia del Norte, está situada en la ladera occidental de la cordillera Oriental, en la parte noroeste del departamento. Su cabecera municipal se ubica a los 6° 20’ de latitud norte y 72° 40’ de longitud oeste. El promedio de temperatura es de 20°C, el promedio de precipitaciones de 1.691 mm y su altitud promedio es de 2.045 msnm. Su límite por el Sur es con el municipio de Susacón, colinda por el Norte con el municipio de Tipacoque; por el Occidente limita con el municipio de Onzaga por el Oriente se encuentra el municipio de Boavita (Santander) (Figura 1).

Figura 1

Mapa político municipio de Soatá.

Fuente: Alcaldía de Soatá (2020).

Modelos de policultivos propuestos

Se generaron los siguientes modelos, tal como se ilustran en la Tabla 1 donde se muestra el modelo inicial y como se detalla en la Tabla 1, el modelo final concertado de forma participativa con los beneficiarios.

Las familias participantes dieron a conocer al equipo administrativo y técnico, diferentes proposiciones en cuanto a especies y variedades que conforman los modelos de policultivos iniciales a establecer, solicitando revisar algunas de ellas para su cultivar, además, de las distancias de siembra debido a condiciones de adaptabilidad, edafoclimáticas y socioeconómicas en el municipio, como se expresa en la siguiente Tabla 1, donde la primera propone el modelo inicial según documento técnico y esta se retroalimentó con las proposiciones de las familias participantes.

Tabla 1

Modelo de policultivos propuestos

Modelo 1: Durazno, Frijol y Maíz					
Cultivo	**Distribución**	**Variedad**	**Distancias de siembra**	**Tamaño de área M2**	**Plantas - Kg /0.5 ha**
Durazno	Testigo	Gran jarillo	7 x 7 m	5000	408
Durazno	Policultivo	Gran jarillo	7 x 7 m	5000	408
Frijol		ICA Cerinza	0,3 x 1 m		77
Maíz		Porva	0,4 x 1 m		44
Modelo 2: Arveja y Maíz					
Cultivo	**Distribución**	**Variedad**	**Distancias de siembra**	**Tamaño de área M2**	**Plantas - Kg /0.5 ha**
Arveja	Testigo	Santa Isabel	0,3x 1 m	5000	116
Arveja	Policultivo	Santa Isabel	0,3x 1 m	5000	116
Maíz		Porva	0,4x 1 m		87
Modelo 3: Maíz, Frijol y Arveja					
Cultivo	**Distribución**	**Variedad**	**Distancias de siembra**	**Tamaño de área M2**	**Plantas - Kg /0.5 ha**
Maíz	Testigo	Porva	0,4 x 1,2 m	5000	66
Maíz	Policultivo	Porva	0,3 x 2m	5000	65
Frijol		Ica Cerinza	0,3 x 4 m		39
Arveja		Santa Isabel	0,3 x4m		22

Fuente: Documento Técnico (2019).

Generalidades del municipio Belén

El municipio de Belén es conocido como Tierra Noble y Legendaria; está ubicado en la provincia de Tundama al norte del departamento de Boyacá. Tiene límite al norte y noroccidente con el departamento de Santander, específicamente con municipios Coromoro y El Encino. En la parte nororiental limita con Tutazá, en la oriental con Paz del Río; en la Sur con Betéitiva y en la suroccidental con Cerinza. Su área total es de 283,65 Km^2 de los cuales 1,01 Km^2 corresponden al área urbana y 282.632 Km^2 competen al área rural. El sector rural se divide en un total de 9 veredas (Figura 2).

Figura 2
Mapa político municipio de Belén.

Fuente: Alcaldía de Belén (2020).

Modelos de policultivos propuestos

Se generaron los siguientes modelos, tal como se ilustran en la Tabla 2, donde se muestra el modelo inicial y el modelo final concertado de forma participativa con los beneficiarios.

Las familias participantes dieron a conocer al equipo administrativo y técnico, diferentes proposiciones en cuanto a especies y variedades que conforman los modelos de policultivos iniciales a establecer,

solicitando revisar algunas de ellas para su cultivar, además, de las distancias de siembra debido a condiciones de adaptabilidad, edafoclimáticas y socioeconómicas en el municipio, como se expresa en las siguientes tablas, en donde la primera propone el modelo inicial según documento técnico y la segunda las proposiciones de las familias.

Tabla 2
Modelo de policultivos propuestos

Modelo 1: Papa y Arveja					
Cultivo	**Distribución**	**Variedad**	**Distancias de siembra**	**Tamaño de área M2**	**Plantas - Kg /0.5 ha**
Papa	Testigo	Superior	0,4 x 1 m	5000	1500
Papa	Policultivo	Superior	0,4 x 1 m	5000	1500
Arveja		Santa Isabel	0,4 x 1 m		70
Modelo 2: Papa Criolla y Arveja					
Cultivo	**Distribución**	**Variedad**	**Distancias de siembra**	**Tamaño de área M2**	**Plantas - Kg/0.5 ha**
Papa	Testigo	Criolla	0,3 x 0,8 m	5000	1.250
Papa	Policultivo	Criolla	0,3 x 1,6 m	5000	750
Arveja		Santa Isabel	0,3 x 1,6 m		73
Modelo 3: Maíz y Frijol					
Cultivo	**Distribución**	**Variedad**	**Distancias de siembra**	**Tamaño de área M2**	**Plantas - Kg /0.5 ha**
Maíz	Testigo	Porva Simijaca	0,4 x 1m	5000	87
Maíz	Policultivo	Porva Simijaca	0,4 x 1m	5000	87
Frijol		Bola Roja Voluble	0,4 x 1 m		116

Fuente: Documento Técnico (2019).

Generalidades del municipio Panqueba

El municipio de Panqueba se ubica en la provincia de Gutiérrez, limitando por el Oriente con los municipios Güicán y el Cocuy y por la parte Occidental con el Espino y Guacamayas. Por la parte Norte con los municipios El Espino y Güicán y por el Sur, con los municipios de El Cocuy, San Mateo y Guacamayas. Se localiza sobre la cordillera Oriental noroeste del departamento. Las coordenadas geográficas son latitud norte: 6° 27´00" y longitud oeste: 72° 20´ 00. El sector rural está conformado por un total de 9 veredas (Figura 3).

Figura 3
Mapa político municipio de Panqueba.

Fuente: Alcaldía de Panqueba (2020).

Modelos de policultivos propuestos

Se generaron los siguientes modelos, tal como se ilustran en la Tabla 3, donde se muestra el modelo final concertado de forma participativa con los beneficiarios. Las familias participantes dieron a conocer sus puntos de vista solicitando revisar algunas de ellas para su cultivar, además, de las distancias de siembra debido a condiciones de adaptabilidad, edafoclimáticas y socioeconómicas en el municipio.

Tabla 3
Modelo de policultivos propuestos

Modelo 1: Cebolla y Frijol				
Cultivo	**Distribución**	**Variedad**	**Variables**	**Frec.**
Cebolla	Testigo	Taki Osaka	Población, altura, no de hojas 100 plantas / peso de cosecha	15 d
Cebolla	Policultivo	Taki Osaka	Población, altura, no de hojas 100 plantas / peso de cosecha	15 d
Frijol		Ica **Cerinza**	Población, altura, diámetro, no de vainas 50 plantas / peso de cosecha al final	15 d
Modelo 2: Durazno, Frijol y Maíz				
Cultivo	**Distribución**	**Variedad**	**Variables**	**Frec.**
Durazno	Testigo	Gran Jarillo	Población, altura, diámetro,	15 d
Durazno	Policultivo	Gran Jarillo	Población, altura, diámetro /	15 d
Frijol		ICA Cerinza	Población, altura, diámetro, no de vainas 50 plantas / peso de cosecha al final	15 d
Maíz		Porva	Población, altura, diámetro, no de hojas 50 plantas / peso de cosecha al final	15 d
Modelo 3: Maíz, Frijol y Arveja				
Cultivo	**Distribución**	**Variedad**	**Variables**	**Frec.**
Maíz	Testigo	Porva	Población, altura, diámetro, no de vainas 50 plantas/ peso de cosecha al final	15 d
Maíz	Policultivo	Porva	Población, altura, diámetro, no de vainas 50 plantas/ peso de cosecha al final	15 d
Frijol		ICA Cerinza	Población, altura, diámetro, no de vainas 50 plantas/ peso de cosecha al final	15 d
Arveja		Santa Isabel	Población, altura, diámetro, no de hojas 50 plantas/ peso de cosecha al final	15 d

Fuente: Documento Técnico (2019).

Validación de los modelos agrícolas asociativos desde el punto de vista agronómico y ambiental

Influencia de la implementación de los modelos agrícolas asociativos sobre la calidad físico- química del agua en las fincas de cada municipio

La determinación de las variables fisicoquímicas de las aguas para riego en las 12 fincas de cada municipio, se realizó inicialmente en los meses junio y julio de 2021, mediante la toma manual de las muestras de agua en las fuentes hídricas (quebradas, aljibes yreservorios) con los que contaban las fincas; por lo cual se tomaron dos muestras por cada finca.

Para la toma e identificación de la muestra se llenó el recipiente de muestreo con una porción de agua de la fuente hídrica entre 250 y 500 ml de acuerdo con el protocolo de cada parámetro a medir. La toma de muestras se realizó sumergiendo el envase de forma contraria al flujo y se tapó herméticamente cada recipiente, además, se colocaron alrededor de la tapa varias vueltas de cinta de enmascarar para asegurar las muestras. Por otra parte, se registró la localización del punto de muestreo para mayor precisión de la ubicación de la fuente y se procedió a realizar la identificación de la muestra, señalando el nombre de quién tomó la muestra, predio o localización y tipo de agua que, para este municipio, correspondió a manantial o caño. Estas fueron preservadas a una temperatura no menor a 5º C.

En los análisis de agua fueron determinadas las siguientes variables: Al intercambiable.

- N disponible por los protocolos establecidos en el laboratorio en forma de nitrato y de amonio.
- Concentración de S (extracción con Ca (HPO_4) y P (Bray II).
- Concentración de minerales (Fe, Cu, Mn, Zn, por el método de Olsen modificado).
- Concentración de B por el método de Azometina H.
- Acidez intercambiable (KCl 1N).
- Bases intercambiables (Ca, Mg, K, Na, en acetato de amonio 1M a pH 7)
- CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico, por suma de cationes).
- pH (por el método potenciométrico en agua o en NaF).

- CE (Conductividad eléctrica).
- RAS.

En la evaluación de la influencia de la implementación de los modelos en policultivos se utilizaron los análisis físico- químicos del agua, en el muestreo inicial y en un segundo muestreo, realizado a los 9 meses de sembrados los cultivos. En ambos se tomaron muestras de agua en cada uno de los 12 predios como se explicó anteriormente.
Un análisis estadístico de comparación de medias a través de la prueba t de Student, fue realizado entre los valores de las variables medidas antes y después en cada modelo de policultivo de cada municipio, para todas las variables, a través del método de muestras no pareadas con una confiabilidad del 95%. Se empleó el paquete estadístico SPSS versión 21.

Influencia de la implementación de los modelos agrícolas asociativos sobre las variables agroquímicas del suelo en cada municipio

En la evaluación de la influencia de la implementación de los modelos en policultivos sobre las variables físico- químicas del suelo en cada municipio, se tomaron muestras de suelo para su respectivo análisis de laboratorio en mayo junio de 2021 y en junio de 2022. Las primeras muestras se tomaron al mismo tiempo en las dos parcelas propuestas para el proyecto y el segundo muestreo se tomaron las muestras por separado, en la parcela del policultivo y la testigo de cada finca, de forma tal que se caracterizaron los suelos en cada momento.

En el proceso de muestreo en cada finca se tomaron 20 submuestras, dependiendo de la topografía del terreno. En cada una de las 36 fincas; las submuestras se tomaron hasta 30 cm de profundidad. Así mismo, se tuvieron en cuenta algunas consideraciones generales a la hora de determinar el lugar para la toma de submuestras, las cuales consistieron en la identificación de las diferencias en cuanto a color, uso actual, vegetación natural y topografía. Para cada lote se mezclaron las submuestras recogidas en un recipiente limpio, donde se recolectó 1.3 kg de muestra. Además, se marcaron las muestras según la finca y posteriormente, se enviaron al laboratorio En los análisis de suelos se determinaron las siguientes variables:

- Al intercambiable.

- N disponible por los protocolos establecidos en el laboratorio en forma de nitrato y de amonio.
- Concentración de S (extracción con Ca (HPO4) y P (Bray II).
- Relaciones iónicas en el suelo (Ca/Mg, Ca+Mg/K, Ca/K, Mg/K).
- Concentración de minerales (Fe, Cu, Mn, Zn, por el método de Olsen modificado).
- Concentración de B por el método de Azometina H.
- Acidez intercambiable (KCl 1N).
- Carbono orgánico (Walkley Black % p/v).
- Bases intercambiables (Ca, Mg, K, Na, en acetato de amonio 1M a pH 7).
- CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico, por suma de cationes).
- pH (por el método potenciométrico en agua o en NaF).
- Textura del suelo (por el método de Bouyucos).
- CE (Conductividad eléctrica).

Se usaron los criterios de Osorio (2012) para la interpretación de los valores de la concentración de elementos y microelementos (Tabla 4).

Tabla 4
Escala de rangos utilizados en Colombia para interpretación de los resultados de los análisis químicos de los suelos

	Unidad	*Interpretación*				
		Muy baja	Baja	Suficiente	Alta	Muy alta
S	mg kg^{-1}	*< 3*	*3-6*	*6-12*	*12-15*	*> 15*
P	*mg kg^{-1}*	*< 5*	*5-15*	*15-30*	*30-45*	*> 45*
Mn	mg kg^{-1}	*< 2,5*	*2,5-5*	*5-10*	*10-20*	*> 20*
Fe	mg kg^{-1}	*< 10*	*10-25*	*25-50*	*50-100*	*> 100*
Zn	mg kg^{-1}	*< 0,5*	*0,5-1 5*	*1-5*	*10-10*	*> 10*
Cu	mg kg^{-1}	*< 0,5*	*0,5-1*	*1-3*	*3-5*	*> 5*
Ca	cmolc kg^{-1}	*<1*	*1-3*	*3-6*	*6-9*	*> 9*
K	cmolc kg^{-1}	*< 0,05*	*0,05-0,15*	*0,15-0,3*	*0,3-0,5*	*> 0,5*
Na	cmolc kg^{-1}	*< 0,5*	*0,5-1*	*> 1*		
Mg	cmolc kg^{-1}	*< 0,5*	*0,5-1 5*	*1,5-2,5*	*2,5-3*	*> 3*
B	mg kg^{-1}	*< 0,2*	*0,2-0,5*	*0,5-1*	*1-1,5*	*> 1,5*
Al	cmolc kg^{-1}	*0,5*	*0,5-2*	*> 2*		

Nota. Para la interpretación de los valores de pH se usaron los criterios de Osorio (2012) (Tabla5). Fuente: Osorio (2012).

Tabla 5
Escala de rangos de pH utilizados en Colombia para interpretación de los resultados de los análisis de suelos

	Acidez extrema	Acidez fuerte	Acidez moderada	Acidez ligera	Neutralidad	Alcalinidad ligera	Alcalinidad alta
pH	< 5	5-5,5	5,5-6	6-6,5	6,5-7,3	7,3-8	> 8

Fuente: Osorio (2012).

Para todas las variables se hizo una comparación de las medias por variables medidas, en las fincas de cada municipio, antes y después de la implementación de los modelos tanto testigo como policultivo. Además, se comparó cada variable entre el testigo y el policultivo en el segundo muestreo. Se empleó el método de muestras no pareadas de la prueba de t de Student para todas las variables con una confiabilidad del 95%. Se usó el paquete estadístico SPSS versión 21.

Influencia de la implementación de los modelos agrícolas asociativos sobre las variables biológicas del suelo en las fincas de cada municipio

Para valorar la influencia de la implementación de los cultivos asociativos sobre las variables biológicas del suelo, se realizaron muestreos al inicio y después de los 12 meses de establecidos los mismos, en las 36 fincas de los tres municipios.

Para ello, se realizaron dos caracterizaciones de las poblaciones de las especies pertenecientes a tres grupos funcionales: macrofauna, mesofauna y microbiología. Para cada momento se tuvo en cuenta lo siguiente: se determinó la existencia de fauna a partir del tamaño de los organismos encontrados en el suelo, macrofauna >2 mm, mesofauna entre 0,2 – 2 mm y grupos funcionales más importantes de la microbiología de los suelos de fincas de las familias participantes del proyecto.

Macrofauna

Para la recolección de la macrofauna se realizó una delimitación inicial de un cuadrante de 25×25 cm, y para ello se utilizó un marco. Una vez marcado el monolito, se comienza a abrir y perfilar los bordes, para lo cual se usó una navaja. Se sacó el contenido de suelo y se depositó en bolsas plásticas grandes o en una manta de polietileno, recolectando manualmente todos los organismos visibles, luego, se envió al laboratorio para ser analizado; allí contaron manualmente las lombrices y demás organismos encontrados de más de 2 cm de largo o que fueran vistos a simple vista. Los organismos encontrados se clasificaban hasta el nivel taxonómico de orden y hasta familia y especie, cuando fue posible.

Mesofauna

A partir de la muestra anterior, en el laboratorio se extrajeron dos monolitos de 10 cm3. Los cuales se depositaron en embudos Berlese-Tullgren por 120 horas, sometidos a una fuente de luz y calor de 25°C hasta 40°C, la cual se ubicó encima de los embudos y debajo de estos, se colocó un frasco con alcohol etílico al 70 o 75%, en el cual se recolectaron los diferentes organismos. Los organismos detectados se contabilizaban y clasificaban hasta el nivel de orden, usando el microscopio estereoscopio.

Microbiología

Con base en los monolitos anteriores, se dispuso a realizar la cuantificación de microorganismos solubilizadores de fosfatos, microorganismos celulíticos, proteolíticos, amilolíticos y fijadores de nitrógeno. Para lo cual se utilizaron los siguientes procedimientos:

Método para la evaluación de microorganismos solubilizadores de fosfatos

Se realizaron diluciones seriadas a partir de 1 g de las muestras de campo. Se realizó la siembra de 0,1 ml de la dilución 10^{-3} con el medio nutritivo PVK y 10^{-5} con medio nutritivo TSA. Se llevaron a incubación a 30 °C ± 2 °C por 48 horas para los microorganismos heterótrofos totales, y 72 horas para los solubilizadores de fósforo. Este procedimiento se realizó con dos repeticiones para cada tratamiento. La lectura se realizó dentro del rango de 30 - 300 colonias tanto para

heterótrofos totales y para los solubilizadores de fosfatos, estimándose las unidades formadoras de colonia (UFC)/g.

Cálculo: $UFC.g^{-1}$= No. de colonias x inverso de la dilución x factor de dilución.

Método para la evaluación de microorganismos celulolíticos

El procedimiento consistió en la preparación de los siguientes reactivos: *Buffer fosfato 0.1M,* paro lo cual, se inició preparando cada fosfato por separado: 14.2g de Na2HPO4 disueltos en 200 ml de agua destilada y 12g de NaH_2PO_4 disueltos en 200 ml de agua destilada, posteriormente mezclaron y se ajustaron, pH = 7.0 +/- 2.0 y enrazaron a 1000 ml con agua destilada en balón volumétrico. Por otro lado, se preparó una solución de Carboximetilcelulosa al 0.5% (p/v) en buffer fosfatado 0.1 M de la siguiente manera: pesaron 0.5 gramos de Carboximetilcelulosa y disolvieron lentamente en 50 ml de buffer fosfato 0.1 M (solución tampón), se calentó la solución en horno microondas por un minuto, se ajustó pH= 7.0 +/- 2.0 y enrazó a 100 ml con buffer fosfato 0.1 M (solución tampón) en balón volumétrico.

Para evaluar los microorganismos se tomó 1 ml de extracto crudo con 1 ml del buffer carboximetilcelulosa – fosfato. Se llevó a incubación a 37 °C según el tiempo de la curva patrón y para detener la reacción se llevó a un recipiente con hielo. Pasado 20 min se centrifugó y al sobrenadante se le realizó análisis de DNS. Las muestras fueron medidas en un espectrofotómetro a 540 nm y el dato fue remplazado en la curva patrón de DNS.

Método para la evaluación de microorganismos fijadores de nitrógeno

Para fijadores de nitrógeno se utilizó el protocolo establecido por Doberreiner & Day (1976) con el uso de un medio de cultivo conteniendo $MgSO_4$7 H_2O, KH_2PO_4, NaCl, $FeCl_3$, $CaCl_2$, MoO_4Na $2H_2O$, agar ácido málico y azul de bromotimol. Se hicieron siembras por triplicado en placas y el conteo se realizó con luz ultravioleta (UV).

Método para la evaluación de bacterias heterótrofas

Para el conteo de bacterias heterótrofas, se empleó el medio agarizado TSA + Nistatina Agar Tripticasa Soya- Scharlau®. Los

medios de cultivo fueron sembrados por duplicado y se incubaron a 30°C, durante 48 horas.

Se estimó finalmente el número de unidades formadoras de colonias totales de bacterias heterótrofas aeróbicas por gramo de suelo (UFC g^{-1}).

Método para la evaluación de poblaciones de hongos

Para la evaluación de hongos se realizaron siembras en Placas de Petri con medio de cultivo Rosa de bengala a pH 5,6, con diferentes diluciones de la solución de 1g de suelo en 10 mL de agua destilada estéril. Se realizaron 3 réplicas por dilución y se hizo el recuento de las colonias a los tres días de incubadas las placas a 30 °C ± 2 °C expresándose en UFC/g.

Toda la información obtenida de los laboratorios por finca se tabuló en Microsoft Excel. A partir de ahí se realizó una comparación gráfica de las poblaciones (abundancia) y el total de especies, entre cada finca del municipio, antes y después de la implementación de los modelos tanto testigo como policultivo.

Validación de los tres modelos agrícolas asociativos de cada municipio desde el punto de población, desarrollo y producción

Los cultivos dentro de los 3 modelos agroecológicos evaluados en Soatá para el primer ciclo se comenzaron a sembrar en los meses de noviembre – diciembre 2021.

Análisis de la situación de la población entre las parcelas

Se estimó el porcentaje de población de cada parcela por cultivo mensualmente, sin embargo, se tuvieron en cuenta para la presente validación los datos tomados en los meses febrero y marzo de 2022.

Se realizaron análisis de comparación con la prueba de T de Student con 95% de confiabilidad para comparar los policultivos y los monocultivos dentro de cada modelo.

Para la variable porcentaje de población se realizaron ANOVAs de un solo factor entre los tres modelos de policultivos para febrero y marzo

de 2022. Los datos se llevaron al análisis una vez comprobado el supuesto de normalidad por la prueba de Kolmogorov Smirnov. Las medias fueron comparadas por la prueba de Tukey para $p<0,05$. Fue utilizado el paquete estadístico SPSS.

Comparación del desarrollo de las variables morfométricas de los policultivos versus los monocultivos por modelos

Las variables morfométricas establecidas se midieron en los cultivos presentes en el policultivo y el monocultivo con la misma frecuencia (mensual en los meses de febrero y marzo). Todas las variables se midieron en la misma semana en la parcela agroecológica y en la testigo (Tablas 6, 7 y 8)**.** Se consideró suficiente dos meses para conocer el nivel de establecimiento de los monocultivos y policultivos en cada parcela, así como su nivel de adaptabilidad a las condiciones edafoclimáticas de cada finca, tanto las especies como las variedades.

Tabla 6
Variables morfométricas evaluadas en los diferentes modelos de Soatá

Cultivo	Meses	Variables
Durazno	Febrero y marzo	Altura y diámetro.
Maíz	Febrero y marzo	Altura y número de hojas.
Frijol	Febrero y marzo	Altura y número de vainas.
Arveja	Febrero y marzo	Altura y número de hojas.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7
Variables morfométricas evaluadas en los diferentes modelos de Belén

Cultivo	Meses	Variables
Papa	Febrero y marzo	Altura y número de tallos.
Arveja	Febrero y marzo	Altura y número de hojas.
Maíz	Febrero y marzo	Altura y número de hojas.
Frijol	Febrero y marzo	Altura y número de vainas.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8
Variables morfométricas evaluadas en los diferentes modelos

Cultivo	Meses	Variables
Durazno	Febrero y marzo	Altura y diámetro.
Maíz	Febrero y marzo	Altura y número de mazorcas.
Frijol	Febrero y marzo	Altura y número de vainas.
Arveja-	Febrero y marzo	Altura y número de hojas.
Cebolla	Febrero y marzo	Altura y número de hojas.

Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron análisis de comparación con la prueba de T de Student con 95% de confiabilidad para contrastar las variables altura y diámetro de los policultivos y los monocultivos dentro de cada modelo.

Fueron realizados ANOVAs de un factor para cada las variables morfo-agronómicas los entre los tres modelos de policultivos. Los datos se llevaron al análisis una vez comprobado el supuesto de normalidad por la prueba de Kolmogorov Smirnov. Las medias fueron comparadas por la prueba de Tukey para $p<0,05$. Fue utilizado el paquete estadístico SPSS.

Las medias se compararon con la prueba de Tukey para $p<0,05$. En todos los casos se empleó el paquete estadístico SPSS.

Valoración de la incidencia de plagas y enfermedades por modelos

Presencia de plagas y enfermedades por modelos

Para determinar la presencia de plagas y enfermedades en los cultivos asociativos dentro de la estrategia agroecológica, se realizó un monitoreo para estimar la incidencia, severidad y nivel poblacional de los artrópodos plagas y frecuencia que tenían los organismos en dichos cultivos. Esto permitió generar una estrategia agroecológica que incluyó un manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE).

Muestreo

Para realizar el muestreo se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- *Lugar (municipio /vereda), nombre de la finca, nombre del participante.*
- *Cultivo, especie plaga encontrada, estructura de la planta encontrada.*
- *Nombre de quien llena la planilla, fecha del muestreo, resultado de la incidencia de la plaga y de la enfermedad (porcentaje).*
- *Controladores naturales encontrados en los cultivos, nivel de daño.*

Observaciones adicionales. Especies de controladores naturales, estado fenológico de la planta, controles químicos y físicos registrados algún control efectuado, etcétera.

Incidencia y severidad de plagas y enfermedades por modelo

Para evaluar las variables de plagas y enfermedades en los policultivos sembrados en las parcelas y los testigos, se realizaron monitoreos quincenales (15 días), que ofrecieron información para el manejo, teniendo en cuenta el umbral de daño económico. La información obtenida en campo se compiló, procesó y analizó estadísticamente para la toma de decisiones a futuro.

Durante la ejecución del proyecto se monitoreó la severidad, incidencia y la frecuencia de aparición de las enfermedades y plagas que incidieron en los cultivos, procesándose a los 30 y 60 días, coincidiendo con los meses de septiembre y octubre, en los dos (policultivo y monocultivo). El monitoreo se realizaba tomando en consideración la fenología del cultivo en sus diferentes edades, con reportes mensuales teniendo en cuenta cada modelo objeto de estudio, policultivo y monocultivo de forma que se conociera el nivel de resistencia o tolerancia de los cultivos y sus variedades a los agentes nocivos.

Los insectos y ácaros plagas se contaron directamente para determinar la incidencia por plantas atacadas o dañadas en relación con las evaluadas (en porcentaje), así como la severidad del ataque en individuos/planta u órgano atacado (media aritmética),

Para las enfermedades se aplicó una escala de seis grados:

0: Planta sana, 1: Solo algunas manchas, hasta el 5 % del área foliar afectada, 2: Desde el 6 al 25 % del área foliar afectada, 3: Desde el 26 al 50 % del área foliar afectada, 4: Desde el 51 al 75 % del área foliar afectada, 5: Más del 75% del área foliar afectada.

Esta información obtenida en los muestreos sirvió para determinar el Porcentaje Incidencia o Distribución para cada enfermedad por la siguiente fórmula:

% Incidencia= n (Plantas afectadas) /N (Plantas evaluadas) x 100

Mientras que, la intensidad o severidad de ataque, definida como la proporción o porcentaje de tejido enfermo se calculó por la fórmula de Towsend y Heuberger.

$$\% I = \sum (axb)/KN]*100$$

Donde:

S = Intensidad o severidad
A = Grado de la escala
B= Número de plantas con un grado a de la escala
K= Grado máximo de la escala
N= Número total de plantas muestreadas

Para todos los cultivos se evaluaron 50 plantas y en ella el follaje, las flores y los frutos.

Para el follaje se evaluó la incidencia y severidad y en los frutos, flores y las enfermedades radiculares o del tallo, se evaluó solamente la variable incidencia.

Para el caso de las plagas de insectos y ácaros se evaluó incidencia en plantas, hojas y ramas según el porte del cultivo y la característica de la plaga.

La intensidad de ataque de ácaros e insectos fue estimada como la población media por hoja, flor, rama o fruto, o sea, según la unidad de observada expresada en insectos o ácaros/planta u órgano evaluado.

Análisis estadístico

Para todas las variables fue realizado un análisis estadístico descriptivo. Además, se confeccionaron gráficas de las dinámicas de las plagas y enfermedades más importantes.

Valoración de la producción entre la parcela testigo y parcela de policultivos por modelos

Se estuvo registrando la producción de cada cultivo de forma sistemática y su comercialización o uso para autoconsumo, tanto en la parcela testigo como la parcela agroecológica por finca y por modelo. Se totalizó toda la producción en la parcela agroecológica durante toda la etapa hasta el mes de julio de 2022 y también del monocultivo, para lo cual se empleó la aplicación Excel de Microsoft. Se realizó un análisis comparativo descriptivo entre el policultivo y la parcela testigo, por finca y modelo.

Validación social del empleo de policultivos sobre la gestión del conocimiento y la implementación de prácticas agroecológicas

Para evaluar los conocimientos sobre policultivos a los agricultores del municipio de Soatá, se aplicó un cuestionario (con 7 preguntas) en dos momentos diferentes, mayo de 2021 y septiembre de 2022. Las preguntas versaron sobre el conocimiento de los agricultores relacionadas con la definición de policultivos, las ventajas de estos, precisamente las ventajas sobre manejo de plagas, manejo de malezas, conservación de suelos y si utilizaban este tipo de sistema de cultivo al momento, como se refleja a continuación.

1. ¿Sabe qué es un policultivo?
2. ¿Conoce las ventajas de un policultivo?
3. ¿Conoce el efecto de los policultivos sobre las plagas y enfermedades?
4. ¿Sabe cuáles son los efectos de policultivos sobre las malezas?
5. ¿Sabe qué son prácticas de conservación de suelos?
6. ¿Sabe qué es Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades?
7. ¿Practica el policultivo o asociación de cultivos en su finca?

Se realizaron análisis descriptivos con las preguntas y una comparación de las respuestas del 2022 versus 2021, mediante una prueba de t-student, usando el paquete estadístico SPSS.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DE LOS MODELOS ASOCIATIVOS EN EL MUNICIPIO DE SOATÁ

Ajuste de forma participativa de los modelos agrícolas asociativos propuestos inicialmente con los agricultores

Los modelos agroecológicos 1 y 2 no presentaron cambios durante el proceso de ajuste participativo en el municipio de Soatá. Se produjeron algunos cambios en el modelo 3 (Maíz-Frijol-Arveja) debido a que se reemplazó el maíz Porva por ICA 305 porque se conocía por los agricultores y estaba verificado como la variedad mejor adaptada (Tabla 9).

Tabla 9
Resultado del ajuste participativo de los modelos policultivos y monocultivos para los diferentes ciclos en el municipio de Soatá

Modelo 1	**Cultivos iniciales**			**Cultivos finales**	
		Especie	**Variedad**	**Principal**	**Especie**
	Principal	Durazno	Gran Jarillo	Durazno	Gran Jarillo
	Asociado	Durazno	Gran Jarillo	Durazno	Gran Jarillo
		Frijol Maíz	ICA Cerinza Porva	Frijol Maíz	ICA Cerinza Porva
	Testigo	Durazno	Gran Jarillo	Durazno	Gran Jarillo
Modelo 2	**Cultivos iniciales**			**Cultivos finales**	
		Especie	**Variedad**	**Principal**	**Especie**
	Principal	Arveja	Santa Isabel	Arveja	Santa Isabel
	Asociado	Arveja	Santa Isabel	Arveja	Santa Isabel
		Maíz	Porva	Maíz	Porva
	Testigo	Arveja	Santa Isabel	Arveja	Santa Isabel
Modelo 3	**Cultivos iniciales**			**Cultivos finales**	
		Especie	**Variedad**	**Principal**	**Especie**
	Principal	Maíz	Porva	Maíz	ICA 305
	Asociado	Maíz	Porva	Maíz	ICA 305

		Frijol Arveja	ICA Cerinza Santa Isabel	Frijol Arveja	ICA Cerinza Santa Isabel
	Testigo	Maíz	Porva	Maíz	ICA 305

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

Se realizó el ajuste de forma participativa de los modelos agrícolas asociativos propuestos con los agricultores, a través de lo cual se validaron socialmente los cultivos a establecer. Los modelos 1 y 2 no presentaron ningún cambio en su establecimiento. Por otra parte, en el modelo 3 se cambió la variedad de maíz de Porva a ICA 305 debido a la experiencia de los productores y la fácil adaptación en la zona.

Influencia de la implementación de los modelos agrícolas asociativos sobre la calidad del agua

Al comparar las variables físico- químicas del agua después de establecidos los policultivos en las fincas, con relación a la situación inicial en el modelo 1 de Soatá (Tabla 10), se observa que las únicas variables que tuvieron cambios con diferencias significativas fueron cloruros (meq/L) y hierro (ppm) (p-valor<5%), el resto de los elementos y propiedades no difirieron estadísticamente. La concentración de cloruro disminuyó significativamente, lo cual es positivo por el riesgo que se corre de que se forme ClNa. La concentración del hierro también disminuyó significativamente, aunque los valores finales pueden ayudar a suplir las necesidades de las plantas y se corre el riesgo de obstrucción de los sistemas de riego.

Tabla 10
Comparación de las variables fisico-químicas del agua antes y después en el modelo del policultivo 1- Soatá

Variables físico-químicas del agua	Media antes	Media después	Valor de t	p-valor o Sig. Bilateral
Sodio (meq / L)	0,2450	0,5400	-0,712	0,527
Potasio (meq / L)	0,0100	0,0350	-1,147	0,335
Calcio (meq / L)	0,2675	0,9575	-1,139	0,334
Magnesio (meq / L)	0,1075	1,1125	-1,022	0,382
Amonio (meq / L)	0,0275	0,0350	-0,933	0,405
Scationes	0,6550	2,6775	-1,006	0,388
Cloruros(meq/L)	0,0375	0,1250	-3,199	0,030 (*)
Azufre (meq/L)	0,3225	0,8175	-0,833	0,460
Carbonatos [a]: (meq/L)	0,0500	0,0500	0,000	1,000
Bicarbonatos (meq/L)	0,5350	2,1000	-1,024	0,380
N-NO3 (meq/L)	0,0155	0,0113	0,774	0,469
Fosfatos (meq/L)	0,0015	0,0020	-0,775	0,469
Saniones	0,9125	3,0550	-1,017	0,383
Hierro (ppm)	0,1725	0,0250	2,913	0,050 (*)
Manganeso (ppm)	0,0850	0,0100	1,097	0,353
Cobre [a]: (ppm)	0,0200	0,0100	0,000	1,000
Zinc [a]: (ppm)	0,0100	0,0100	0,000	1,000
Boro (ppm)	0,0500	0,1225	-1,911	0,152
Dureza (mg/L) (CaCO3)	18,7500	103,2500	-1,069	0,363
pH	7,8975	7,6800	1,098	0,315
C, E. (mS/cm)	0,1100	0,2725	-0,810	0,476
RAS	0,6600	0,4800	0,687	0,518

[a]: No fue posible calcular la correlación ni la estadística t porque el error típico de la diferencia es 0
(*): P-valor < 0,05 indica diferencias significativas en las dos muestras analizadas

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 11, se presentan los resultados de comparaciones de las variables fisicoquímicas del agua después de establecidos los policultivos con relación a antes para el modelo policultivo 2. El único elemento que presentó un incremento considerable con diferencia estadística significativa (p-valor <5%) fue el cloruro. La disminución de la concentración de cloruro disminuyó; es favorable por el riesgo que se corre de que se forme ClNa y aumente la salinidad del suelo.

Tabla 11

Comparación de las variables fisico-químicas del agua antes y después en el modelo del policultivo 2- Soatá

Variables físico-químicas del agua	Media antes	Media después	Valor de t	*p-valor o Sig. Bilateral*
Sodio (meq / L)	0,2750	0,1150	2,167	0,077
Potasio (meq / L)	0,0200	0,0350	-0,676	0,544
Calcio (meq / L)	0,7925	0,5325	0,339	0,748
Magnesio (meq / L)	0,1400	0,1500	-0,104	0,921
Amonio (meq / L)	0,0375	0,0300	0,635	0,562
Scationes	1,2625	0,8625	0,464	0,662
Cloruros(meq/L)	0,0750	0,1350	-2,484	0,049 (*)
Azufre (meq/L)	0,2075	0,2525	-0,178	0,865
Carbonatos [a]: (meq/L)	0,0500	0,0500	0,000	1,000
Bicarbonatos (meq/L)	0,7250	0,8000	-0,134	0,898
N-NO3 (meq/L)	0,0433	0,0100	1,077	0,360
Fosfatos (meq/L)	0,0030	0,0018	0,608	0,582
Saniones	1,0525	1,1975	-0,183	0,861
Hierro (ppm)	0,1975	0,4650	-0,582	0,600
Manganeso (ppm)	0,0250	0,0100	1,000	0,391
Cobre (ppm)	0,0200	0,0100	1,414	0,252
Zinc [a]: (ppm)	0,0100	0,0100	0,000	1,000
Boro (ppm)	0,2200	0,1075	1,260	0,269
Dureza (mg/L) (CaCO3)	46,5000	34,0000	0,291	0,783
pH	7,9175	7,4750	2,312	0,067
C, E. (mS/cm)	0,1275	0,0925	0,463	0,662
RAS	0,7125	0,2825	1,977	0,103

[a]: No fue posible calcular la correlación ni la estadística t porque el error típico de la diferencia es 0
(*): P-valor < 0,05 indica diferencias significativas en las dos muestras analizadas

K: potasio; Na: sodio; Ca: calcio; Al: aluminio; Mg: S cationes: Suma de cationes; magnesio; CIC: capacidad de intercambio catiónico; P: fósforo; Cl: cloro; $N\text{-}NH_4^+$: nitrógeno disponible en forma amonio; $N\text{-}NO_3^-$: nitrógeno disponible en forma de nitrato; S aniones: Suma de aniones; Fe: hierro; S: azufre; Mn: manganeso; Zn: zinc; Cu: cobre; B: boro; pH: potencial de hidrógeno; RAS: Relación de absorción de sodio; CE: conductividad eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 12, se puede observar que solo el elemento pH fue marcado con (*) indicando que fue la única variable que manifestó una disminución significativa en el segundo muestreo (p-valor <5%) con relación al primero. Los elementos que tienen un signo negativo en el valor de t, indica que aumentaron su concentración en el segundo muestreo, pero nada significativo. La disminución del pH desde 8,2, que puede considerarse como un agua dura, hasta 7,73, puede considerarse favorable para el agua de riego.

Tabla 12

Comparación de las variables fisico-químicas del agua antes y después en el modelo del policultivo 3- Soatá

Variables físico-químicas del agua	Media Antes	Media después	Valor de t	*p-valor o Sig. Bilateral*
Sodio (meq / L)	2,3950	0,7350	1,133	0,329
Potasio (meq / L)	0,0950	0,0850	0,199	0,849
Calcio (meq / L)	5,9250	2,9125	1,145	0,310
Magnesio (meq / L)	2,7925	1,5025	0,874	0,419
Amonio (meq / L)	0,0200	0,0225	-1,000	0,391
Scationes	11,2300	5,2600	1,084	0,334
Cloruros(meq/L)	0,2725	0,1675	0,900	0,410
Azufre (meq/L)	5,8400	2,8025	0,729	0,506
Carbonatos [a] (meq/L)	0,0500	0,0500	0,000	1,000
Bicarbonatos (meq/L)	4,7500	3,0125	1,046	0,345
N-NO3 (meq/L)	0,0103	0,0183	-0,901	0,432
Fosfatos (meq/L)	0,0010	0,0018	-3,000	0,058
Saniones	10,8725	6,0025	0,887	0,420
Hierro (ppm)	0,0750	0,0475	0,631	0,556
Manganeso (ppm)	0,0125	0,0100	1,000	0,391
Cobre (ppm)	0,0150	0,0100	1,000	0,391
Zinc [a] (ppm)	0,0100	0,0100	0,000	1,000

Boro (ppm)	0,1775	0,0925	2,025	0,092
Dureza total (mg/L) (CaCO3)	436,2500	220,7500	1,057	0,341
pH	8,2025	7,7375	2,943	0,037(*)
C, E. (mS/cm)	1,2400	0,5100	1,152	0,316
RAS	0,9625	0,4450	1,139	0,320
[a]: No fue posible calcular la correlación ni la estadística t porque el error típico de la diferencia es 0 (*): P-valor < 0,05 indica diferencias significativas en las dos muestras analizadas				
K: potasio; Na: sodio; Ca: calcio; Al: aluminio; Mg: S cationes: Suma de cationes; magnesio; CIC: capacidad de intercambio catiónico; P: fósforo; Cl: cloro; N-NH_4^+: nitrógeno disponible en forma amonio; N-NO_3^-: nitrógeno disponible en forma de nitrato; S aniones: Suma de aniones; Fe: hierro; S: azufre; Mn: manganeso; Zn: zinc; Cu: cobre; B: boro; pH: potencial de hidrógeno; RAS: Relación de absorción de sodio; CE: conductividad eléctrica.				

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

Los modelos de policultivos en el municipio de Soatá influenciaron poco las propiedades fisicoquímicas del agua de riego, sin embargo cuando los cambios fueron significativos favorecieron la calidad dela agua en todos los casos como la disminución de la concentración del hierro y los cloruros en el modelo 1 (Durazno-Frijol-Maíz y Durazno Testigo), la disminución de los cloruros en el modelo 2 (Arveja-Maíz y Maíz Testigo), y la reducción del pH en el modelo 3 (Maíz-Frijol-Arveja y Maíz Testigo).

Influencia de la implementación de los modelos agrícolas asociativos sobre las variables físico químicas del suelo

La comparación de las variables físico-químicas del suelo después de establecidos los policultivos en las fincas con relación a la situación final del monocultivo en el modelo 1 de Soatá (Tabla 13) muestra que no hubo diferencia a nivel estadístico (p-valor >5%) entre las dos parcelas, excepto para los cloruros que fue más alta considerablemente en la parcela testigo (monocultivos) con respecto al policultivo. Esta situación no es favorable para los monocultivos por el riesgo de salinización ya que mientras que en los policultivos estuvo por debajo de 0,05 concentración considerada muy baja, en el monocultivo quedó en la categoría de baja por estar entre 0,5 y 1,5.

Tabla 13

Análisis de la comparación entre la parcela policultivo y la testigo (monocultivo) para las variables físico-químicas más importantes del suelo, para el modelo 1- Soatá, 2022

Variables físico-químicas del suelo	Media policultivo	Media testigo	Valor de t	*p-valor o Sig. Bilateral*
Potasio (meq /100 cc)	0,1875	0,5625	-1,501	0,228
Calcio (meq / 100 cc)	8,5900	13,6575	-0,646	0,542
Magnesio (meq / 100 cc)	2,8600	2,7175	0,082	0,938
Sodio (meq /L)	0,4425	0,3300	0,738	0,488
Aluminio (meq /100 cc)	0,6500	0,6633	-0,023	0,983
C.I.C (meq / 100 g)	20,1375	16,6950	0,546	0,612
Cloruros (meq/100 cc)	0,8850	1,2850	-3,624	0,011 (*)
Fósforo (ppm)	24,0000	15,7500	0,420	0,689
N-NH4 (ppm)	14,2500	14,0000	0,147	0,888
N-NO3 [a] (ppm)	11,2500	11,2500	0,000	1,000
Azufre (ppm)	17,5000	2,7500	1,336	0,230
Hierro (ppm)	101,2500	81,2500	0,540	0,608
Manganeso (ppm)	95,2500	79,7500	0,209	0,841
Cobre (ppm)	0,3250	0,2500	0,585	0,580
Zinc (ppm)	0,7500	1,0750	-0,718	0,500
Boro (ppm)	0,1475	0,1650	-0,159	0,879
pH	6,1825	6,0725	0,120	0,908
C.E (mS/cm)	0,2675	0,2325	0,387	0,712
Materia orgánica (%)	2,9625	3,3700	-0,324	0,757
Carbono orgánico (%)	1,7175	1,9550	-0,326	0,755
Saturación bases (%)	85,7500	80,2500	0,236	0,822
Densidad aparente (g/cc)	1,2825	1,3450	-0,455	0,665

[a]: : No fue posible calcular la correlación ni la estadística t porque el error típico de la diferencia es 0

(*): P-valor < 0,05 indica diferencias significativas en las dos muestras analizadas

CIC: capacidad de intercambio catiónico; N-NH_4^+: nitrógeno disponible en forma de amonio; N-NO_3^-: nitrógeno disponible en forma de nitrato; pH: potencial de hidrógeno; C.E: conductividad eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 14, se presentan los resultados de comparaciones de las variables físico- químicas del suelo para el modelo 2, donde se

observó que no hubo diferencia estadística significativa (p-valor >5%) en las variables medidas en las parcelas policultivos con respecto al testigo (monocultivo).

Tabla 14

Análisis de la comparación entre la parcela policultivo y la testigo (monocultivo) para las variables agroquímicas más importantes del suelo, para el modelo 2- Soatá, 2022

Variables físico-químicas del suelo	Media policultivo	Media testigo	Valor de t	*p-valor o Sig. Bilateral*
Potasio (meq /100 cc)	0,298	0,243	0,348	0,740
Calcio (meq / 100 cc)	5,163	6,125	-0,201	0,848
Magnesio (meq / 100 cc)	1,445	1,665	-0,206	0,844
Sodio (meq /L)	0,310	0,368	-0,714	0,502
Aluminio (meq /100 cc)	1,745	1,550	0,160	0,879
C.I.C (meq / 100 g)	21,573	23,305	-0,259	0,804
Cloruros (meq/100 cc)	2,565	1,940	0,361	0,730
Fósforo (ppm)	12,000	9,750	0,452	0,667
N-NH4 (ppm)	16,000	24,750	-0,834	0,461
N-NO3 [a] (ppm)	21,250	52,500	-0,834	0,436
Azufre (ppm)	2,500	5,750	-0,988	0,361
Hierro (ppm)	125,500	105,000	0,619	0,559
Manganeso (ppm)	27,500	18,750	0,463	0,660
Cobre (ppm)	0,600	0,450	0,878	0,414
Zinc (ppm)	0,625	0,550	0,271	0,795
Boro (ppm)	0,085	0,110	-0,608	0,566
pH	4,998	5,115	-0,166	0,873
C.E (mS/cm)	0,420	0,445	-0,097	0,926
Materia orgánica (%)	3,723	2,805	0,781	0,465
Carbono orgánico (%)	2,160	1,625	0,785	0,462
Saturación bases (%)	63,750	65,750	-0,070	0,947
Densidad aparente (g/cc)	1,220	1,195	0,151	0,885
[a]: : No fue posible calcular la correlación ni la estadística t porque el error típico de la diferencia es 0 (*): P-valor < 0,05 indica diferencias significativas en las dos muestras analizadas				
CIC: capacidad de intercambio catiónico; N-NH_4^+: nitrógeno disponible en forma de amonio; N-NO_3^-: nitrógeno disponible en forma de nitrato; pH: potencial de hidrógeno; C.E: conductividad eléctrica.				

Fuente: Elaboración propia.

En los resultados de la Tabla 15 se observa para el modelo 3, que tampoco hubo diferencia estadística significativa (p-valor >5%) en las

variables medidas en las parcelas policultivos y con respecto al testigo (monocultivo). La variable Saturación bases, permaneció constante en las dos parcelas.

Tabla 15

Análisis de la comparación entre la parcela policultivo y la testigo (monocultivo) para las variables agroquímicas más importantes del suelo, para el modelo 3- Soatá, 2022

Variables físico-químicas del suelo	Media policultivo	Media testigo	Valor de t	*p-valor o Sig. Bilateral*
Potasio (meq /100 cc)	0,2850	0,1925	0,712	0,503
Calcio (meq / 100 cc)	60,4150	51,0575	0,409	0,697
Magnesio (meq / 100 cc)	4,4225	4,8375	-0,263	0,802
Sodio (meq /L)	0,8075	0,9850	-0,541	0,608
Aluminio (meq /100 cc)	1.0200	0.6967	0.275	0.794
C.I.C (meq / 100 g)	24,4175	25,2150	0,275	0,884
Cloruros (meq/100 cc)	1,2150	1,4150	-0,152	0,305
Fósforo (ppm)	23,0000	25,5000	-1,121	0,804
N-NH4 [a]: (ppm)	13,0000	12,5000	-0,260	0,862
N-NO3 (ppm)	11,2500	8,7500	0,182	0,488
Azufre (ppm)	42,0000	49,2500	0,739	0,710
Hierro (ppm)	93,2500	90,2500	-0,390	0,973
Manganeso (ppm)	23,7500	26,2500	0,035	0,807
Cobre (ppm)	0,6250	0,5750	-0,255	0,854
Zinc (ppm)	2,2250	1,6000	0,192	0,543
Boro (ppm)	0,1825	0,2025	0,645	0,648
pH	7,2100	7,1775	-0,481	0,938
C.E (mS/cm)	0,4625	0,4725	-0,093	0,929
Materia orgánica (%)	2,3175	1,8150	0,401	0,702
Carbono orgánico (%)	1,3450	1,0550	0,400	0,703
Saturación bases [a] (%)	100.000	100.000	0.000	1.000
Densidad aparente (g/cc)	1,2025	1,2500	-0,347	0,740
[a]: : No fue posible calcular la correlación ni la estadística t porque el error típico de la diferencia es 0 (*): P-valor < 0,05 indica diferencias significativas en las dos muestras analizadas				
CIC: capacidad de intercambio catiónico; N-NH_4^+: nitrógeno disponible en forma de amonio; N-NO_3^-: nitrógeno disponible en forma de nitrato; pH: potencial de hidrógeno; C.E: conductividad eléctrica.				

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

La valoración de la implementación de los modelos de policultivos en el municipio de Soatá demostró que influenciaron poco en las propiedades físico-químicas del suelo, ya que no hubo cambios significativos, exceptuando el aumento de los cloruros en la parcela testigo del modelo 1 (Durazno-Frijol-Maíz vs Durazno Testigo), pero no en los modelos 2 (Arveja-Maíz vs Maíz Testigo) y 3 (Maíz-Frijol-Arveja vs Maíz Testigo), donde no presentó ningún cambio significativo en las variables medidas en los dos muestreos.

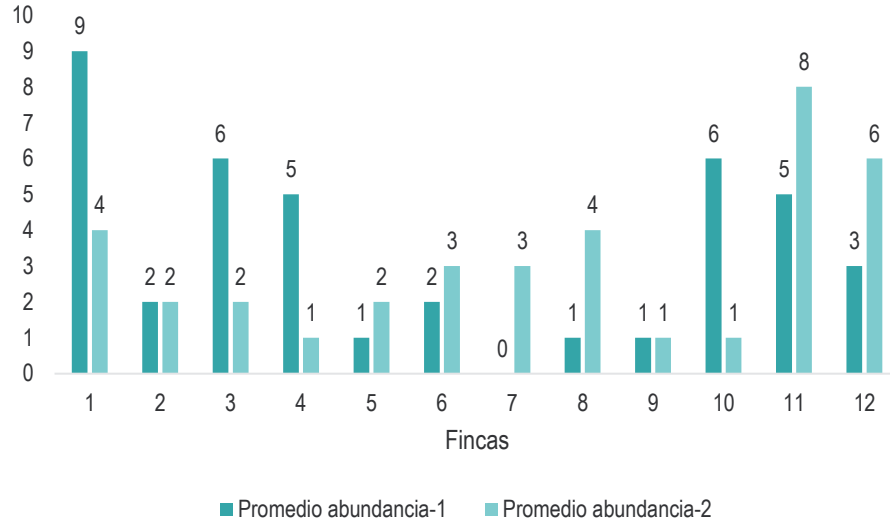
Influencia de la implementación de los modelos agrícolas asociativos sobre las variables biológicas del suelo

Macrofauna

No se observó uniformidad en el comportamiento de la abundancia de la macrofauna en las fincas después de implementados los policultivos con respecto al inicio. Al inicio las poblaciones variaron entre 0 y 9 individuos (finca Ronquira) y después entre 1 y 8 (finca Copa de Oro). Las poblaciones disminuyeron en 5 fincas, aumentaron en 5 y se mantuvieron en dos (Figura 4). Sobre este comportamiento debe profundizarse en futuras investigaciones.

Figura 4

Abundancia de la macrofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá.



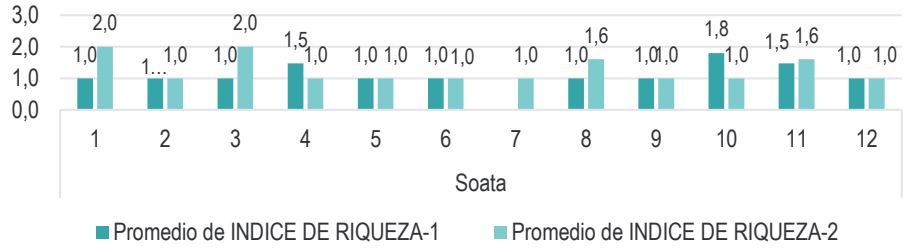
1.Ronquira, 2. El Ralo, 3. Gallinacera, 4. La Palma, 5. El Almorzadero, 6. Los Laureles, 7. El Cito, 8. Florencia, 9. La Primavera, 10. Gallinero, 11. Copa de Oro,12. El Gaque

Fuente: Elaboración propia.

De forma similar a la abundancia, la riqueza específica de la macrofauna del suelo aumentó en cuatro fincas, disminuyó en tres y no tuvo variación en siete con la implementación de los policultivos, por lo que en la mayoría de las fincas no hubo perturbación del número de especies de la macrofauna o estas aumentaron (Figura 5), sin embargo, en ningún caso la riqueza fue mayor de 2, lo que se considera una baja biodiversidad.

Figura 5

Riqueza específica de la macrofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá.



1.Ronquira, 2. El Ralo, 3. Gallinacera, 4. La Palma, 5. El Almorzadero, 6. Los Laureles, 7. El Cito, 8. Florencia, 9. La Primavera, 10. Gallinero, 11. Copa de Oro,12. El Gaque

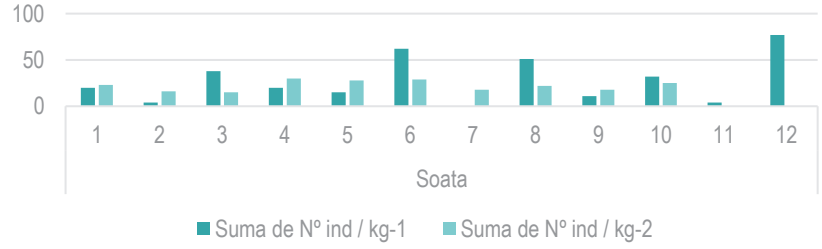
Fuente: Elaboración propia.

Mesofauna

No se observó uniformidad en el comportamiento de la abundancia de la mesofauna en las fincas después de implementados los policultivos con respecto al inicio. En seis finas aumentaron los individuos y en otras seis disminuyeron. Al inicio las poblaciones variaron entre 0 y 70 individuos/kg (finca Copa de Oro) y después entre1 y 30 (finca La Palma) (Figura 6).

Figura 6

Abundancia de la mesofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá.



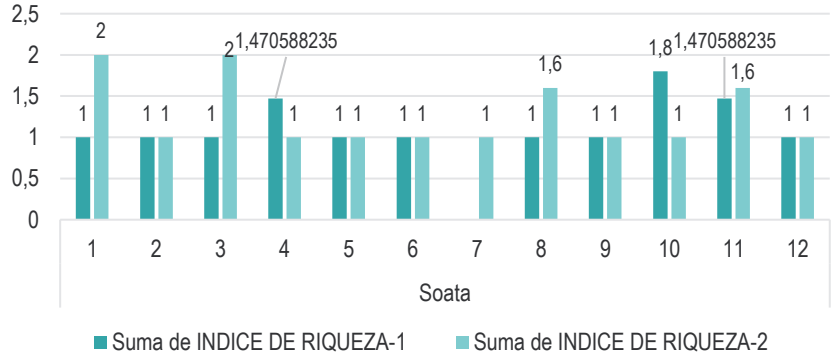
1.Ronquira, 2. El Ralo, 3. Gallinacera, 4. La Palma, 5. El Almorzadero, 6. Los Laureles, 7. El Cito, 8. Florencia, 9. La Primavera, 10. Gallinero, 11. Copa de Oro,12. El Gaque.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los niveles de riqueza no se observó uniformidad en las fincas después de implementados los policultivos. En 4 predios aumentaron los niveles de riqueza, en 3 se redujo y en 5 se mantuvo constante. En ningún predio la riqueza subió de 2 por lo cual se considera en nivel bajo (Figura 7).

Figura 7

Riqueza de la mesofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá.



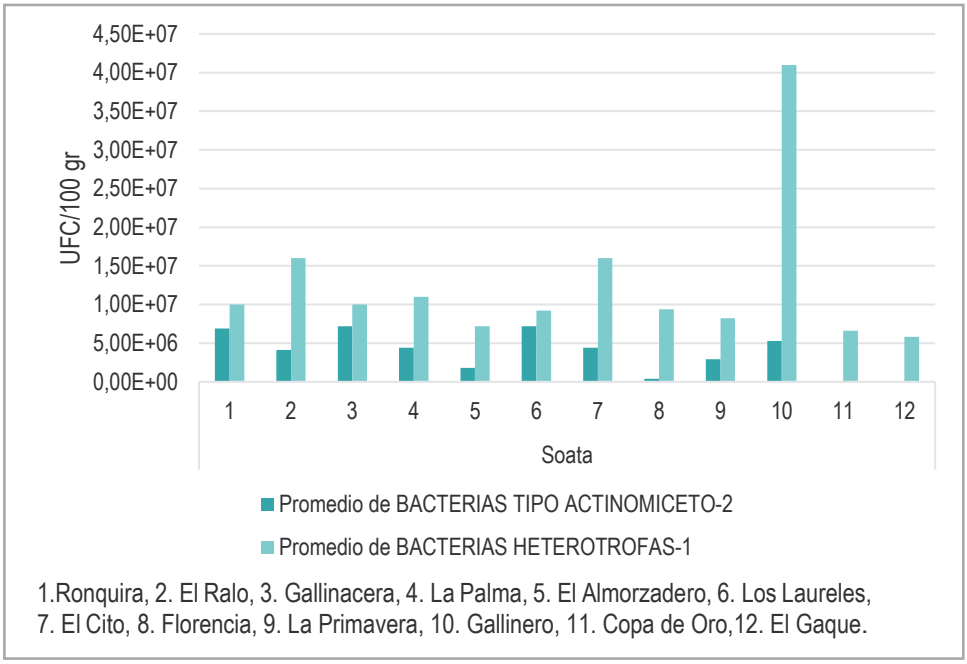
1.Ronquira, 2. El Ralo, 3. Gallinacera, 4. La Palma, 5. El Almorzadero, 6. Los Laureles, 7. El Cito, 8. Florencia, 9. La Primavera, 10. Gallinero, 11. Copa de Oro,12. El Gaque.

Fuente: Elaboración propia.

Microbiología

Las poblaciones de actinomicetos aumentaron en todas las fincas después de implementados los policultivos con respecto al inicio. Las poblaciones más altas al inicio fueron en la finca El Cito entre 1 y 2 $4x10^7$ UCF y las más altas después en la finca El Gallinero con $4x10^7$ UCF (Figura 8).

Figura 8
Poblaciones de actinomicetos del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá.

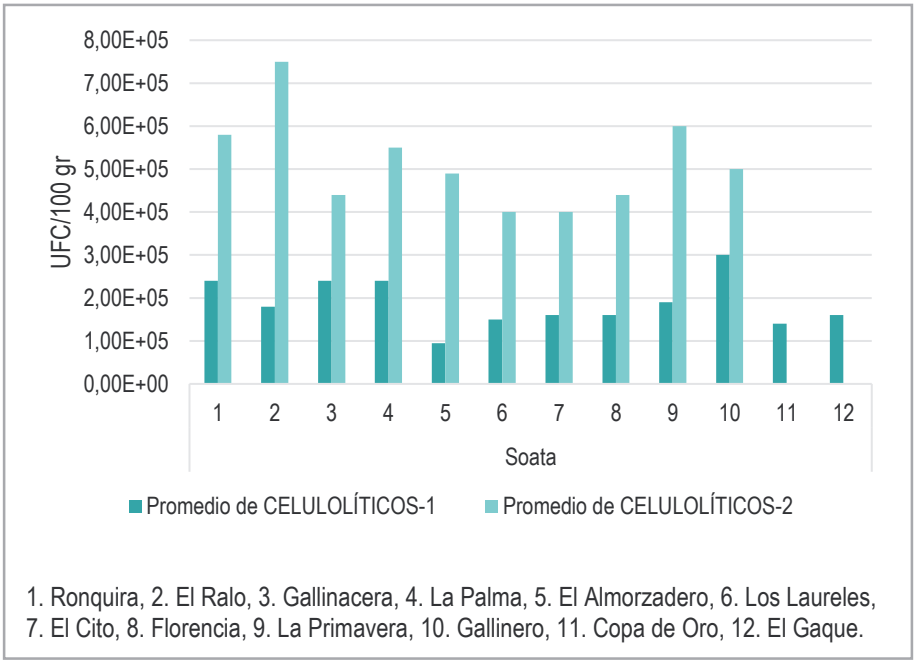


Fuente: Elaboración propia.

Las poblaciones de microorganismos celulíticos aumentaron en 10 de las 12 las fincas después de implementados los policultivos con respecto al inicio. Estuvieron en cero después en las fincas La Copa De Oro y El Gaque. Las poblaciones más altas antes estuvieron en la finca el Gallinero con $3x10^5$ UCF y las más altas después en la finca el Ralo con más de $7x10^5$ UCF (Figura 9).

Figura 9

Poblaciones de los microorganismos celulíticos del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá.

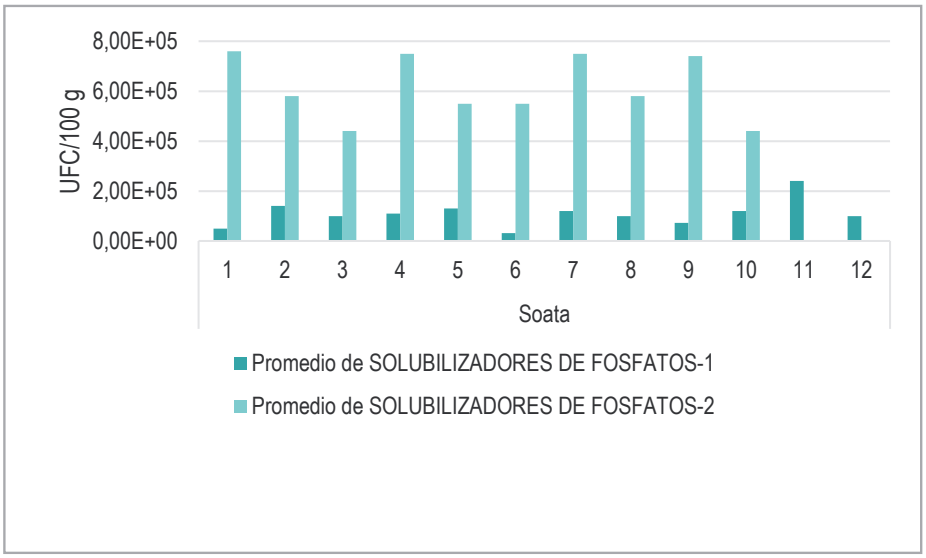


1. Ronquira, 2. El Ralo, 3. Gallinacera, 4. La Palma, 5. El Almorzadero, 6. Los Laureles, 7. El Cito, 8. Florencia, 9. La Primavera, 10. Gallinero, 11. Copa de Oro, 12. El Gaque.

Fuente: Elaboración propia.

Las poblaciones de microorganismos solubilizadores de fósforo aumentaron en 10 de las 12 las fincas después de implementados los policultivos con respecto al inicio. No fueron detectables al nivel de 10^5 UCF en el segundo muestreo en las fincas La Copa De Oro y El Gaque. Las poblaciones más altas al inicio fueron en la finca La Copa De Oro $2{,}4x10^5$ UCF y las más altas después en la finca Ronquira con $7x10^5$ UCF (Figura 10).

Figura 10
Poblaciones microorganismos solubilizadores de fósforo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá.

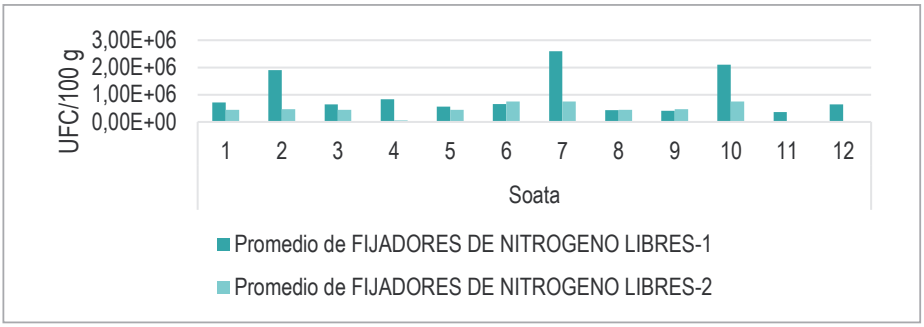


Fuente: Elaboración propia.

Las poblaciones de microorganismos fijadores de N disminuyeron en 10 de las 12 las fincas después de implementados los policultivos con respecto al inicio. Estuvieron en cero después en las fincas La Copa De Oro y El Gaque. Las poblaciones más altas al inicio fueron en la finca El Cito $2,5x10^6$ UCF y las más altas después en la finca Ronquira con $7,5x10^5$ UCF (Figura 11). Se puede decir que hubo un impacto negativo sobre estos fijadores de N.

Figura 11

Poblaciones microorganismos fijadores de N en el suelo de las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá.

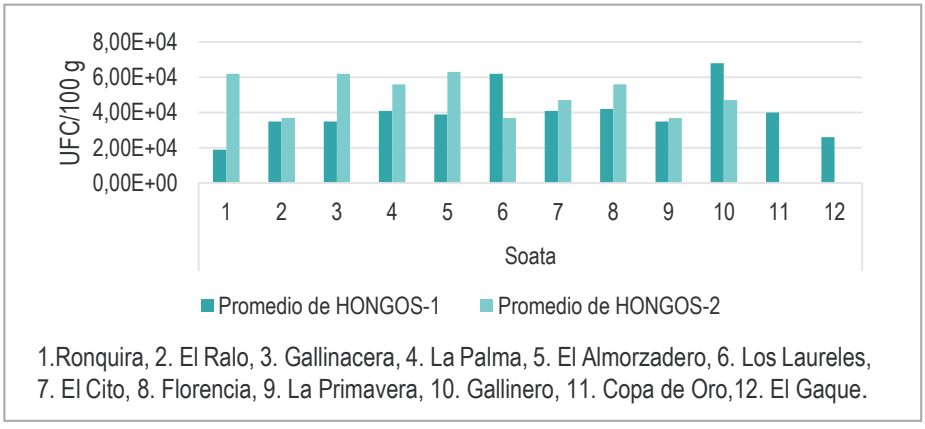


Fuente: Elaboración propia.

Las poblaciones de hongos en el suelo aumentaron en 8 de las 12 las fincas después de implementados los policultivos con respecto al inicio. No fueron detectables al nivel de 10^4 UCF en el segundo muestreo en las fincas La Copa De Oro y El Gaque, sin embargo, de forma general las poblaciones estuvieron bastante estables en el resto. Las poblaciones más altas al inicio fueron en la finca Gallinero $6{,}8x10^4$ UCF y las más altas después en la finca El Almorzadero con $6{,}3x10^4$ UCF (Figura 12).

Figura 12

Poblaciones de hongos en el suelo de las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá.

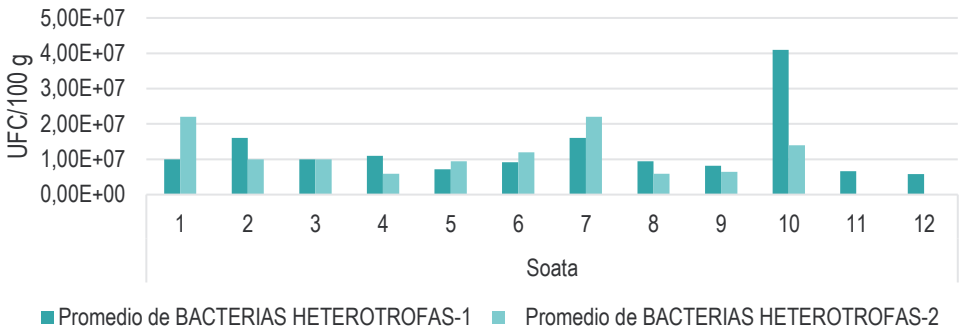


1.Ronquira, 2. El Ralo, 3. Gallinacera, 4. La Palma, 5. El Almorzadero, 6. Los Laureles, 7. El Cito, 8. Florencia, 9. La Primavera, 10. Gallinero, 11. Copa de Oro,12. El Gaque.

Fuente: Elaboración propia.

Las poblaciones de bacterias heterótrofas disminuyeron en 7 de las 12 fincas, después de implementados los policultivos con respecto al inicio y se mantuvieron en una. No fueron detectables al nivel de 10^7 UCF en el segundo muestreo en las fincas la Copa de Oro y El Gaque. Las poblaciones más altas al inicio fueron en la finca Gallinero $4x10^7$ UCF y las más altas después en las fincas Ronquira y El Cito con $2{,}2x10^7$ UCF (Figura 13). En general este grupo de bacterias presentó poblaciones altas durante todos los muestreos.

Figura 13
Poblaciones de bacterias heterótrofas del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Soatá.



1.Ronquira, 2. El Ralo, 3. Gallinacera, 4. La Palma, 5. El Almorzadero, 6. Los Laureles, 7. El Cito, 8. Florencia, 9. La Primavera, 10. Gallinero, 11. Copa de Oro,12. El Gaque

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

Las poblaciones de macrofauna eran bajas y de alguna forma se vieron desfavorecidas por la implementación de los policultivos, mientras que las poblaciones de mesofauna tuvieron poca influencia. Con relación a los microorganismos, aumentaron en la mayoría de las fincas las poblaciones de actinomicetos, de microrganismos celulíticos, los moralizadores de fósforo y los hongos con la implementación de los policultivos, mientras que disminuyeron los fijadores de N y las bacterias heterótrofas

Validación de los modelos agrícolas asociativos desde el punto de población, desarrollo y producción

Población de plantas

De acuerdo con la medición de variables morfométricas realizada en el modelo agroecológico 1 se pudo evidenciar que no se presentó diferencia estadística significativa para las variables de población, diámetro y altura de las plantas en el cultivo de durazno entre la parcela policultivo y monocultivo (Tabla 16)

Tabla 16
Resumen población (%) y variables morfométricas modelo 1 -Soatá

Modelo 1: Cultivo principal Durazno				
Variable		Media	T de student	p-valor
Población (%)	Parcela policultivo	95,18	0,329	0,743
	Parcela monocultivo	94,90		
Altura (cm)	Parcela policultivo	81,58	0,177	0,862
	Parcela monocultivo	79,58		
Diámetro	Parcela policultivo	1,81	-0,805	0,433
	Parcela monocultivo	1,93		

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar la medición de variables morfométricas realizadas en el modelo 2 se pudo evidenciar que no se presentó diferencia estadística significativa para las variables de población, número de hojas y altura de las plantas en el cultivo de arveja entre la parcela policultivo y monocultivo (Tabla 17).

Tabla 17
Resumen población (%) y variables morfométricas modelo 2 -Soatá

Modelo 2: Cultivo principal Arveja				
Variable		Media	T de student	p-valor
Población (%)	Parcela policultivo	59,3077	0,214	0,831
	Parcela monocultivo	56,9643		
Altura (cm)	Parcela policultivo	44,7500	0,620	0,542
	Parcela monocultivo	40,9870		
Número de hojas	Parcela policultivo	45,0350	0,449	0,659
	Parcela monocultivo	42,3510		

Fuente: Elaboración propia.

No hubo diferencia significativa para la población de plantas entre la parcela del policultivo y la del testigo. Al analizar la medición de variables morfométricas realizadas en el modelo 3, se pudo evidenciar que las variables altura, diámetro de las plantas del maíz y número de mazorcas no presentaron diferencia estadística significativa en el cultivo de maíz entre la parcela policultivo y monocultivo (Tabla 18).

Tabla 18
Resumen población (%) y variables morfométricas modelo 3 -Soatá

Modelo 3: Cultivo principal Maíz				
Variable		Media	T de student	p-valor
Población (%)	Parcela policultivo	52,9667	-0,447	0,657
	Parcela monocultivo	58,0000		
Altura (cm)	Parcela policultivo	77,1155	-0,843	0,412
	Parcela monocultivo	95,5317		
Diámetro	Parcela policultivo	2,4500	1,014	0,327
	Parcela monocultivo	2,1233		
N°. de mazorcas	Parcela policultivo	0,2982	-0,363	0,721
	Parcela monocultivo	0,3750		

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

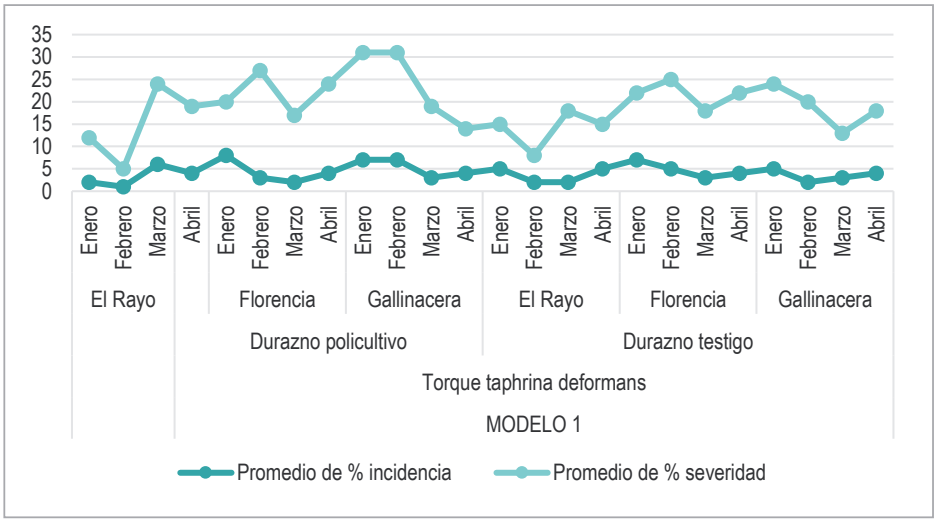
No hubo diferencia significativa en cuanto a población de plantas entre la parcela del policultivo y la del testigo en ninguno de los tres modelos en estudio. Teniendo en cuenta las mediciones de variables morfométricas en la implementación de los modelos de policultivos en el municipio de Soatá, no se presentaron diferencias significativas para estas variables en los cultivos principales en los sistemas de cultivo, modelo 1 (Durazno-Maíz-Frijol y Durazno Testigo), modelo 2 (Arveja- Maíz y Arveja Testigo) y modelo 3 (Maíz-Frijol-Arveja y Maíz Testigo).

Incidencia y dinámica de las plagas y enfermedades, correlación con las variables meteorológicas

Los resultados del comportamiento del torque *Taphrina deformans* en el durazno en el modelo 1 Durazno-Maíz-Frijol del municipio Soatá en los meses enero-abril de 2022 son contradictorios, mientras en las fincas Florencia y Gallinacera el policultivo tuvo mayor incidencia y severidad en el monocultivo de la finca El Rayo ocurrió lo contrario (Figura 14).

Figura 14

Situación de la incidencia de (Taphrina deformans) en el durazno en el monocultivo versus el policultivo del modelo 1: Durazno-Maíz-Fríjol.

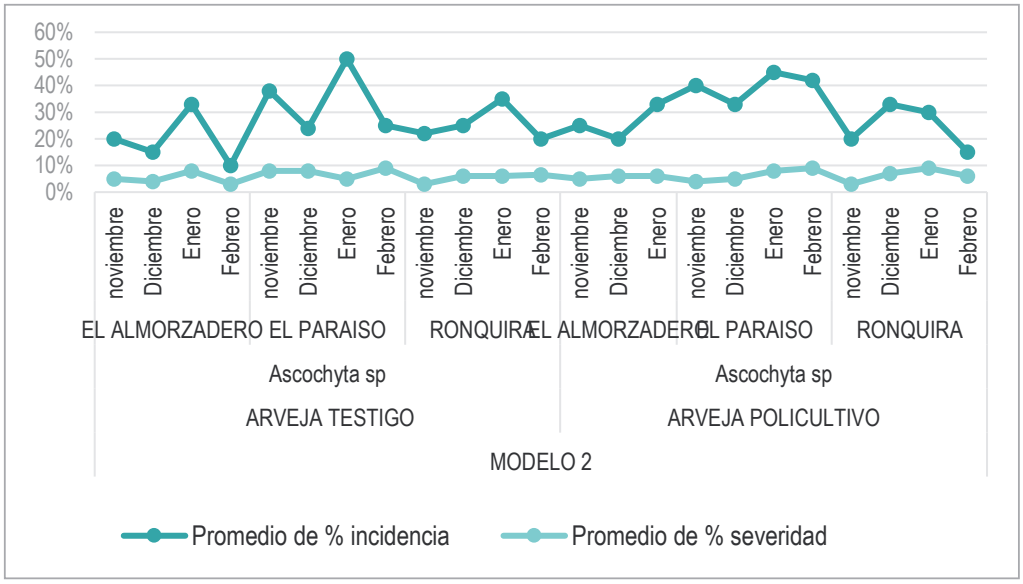


Fuente: Elaboración propia.

La incidencia y severidad de *Ascochyta* en arveja en el modelo 2 Arveja-Maíz del municipio Soatá, en los meses de noviembre a febrero es presentado en la Figura 15. El gráfico muestra que la incidencia tuvo una tendencia a presentar picos mayores en el testigo en el mes de enero en las fincas El Almorzadero y El Paraíso. En relación con los policultivos los mismos meses y fincas, lo que da una medida de que hubo algún beneficio del sistema de policultivo con relación a la incidencia de esta enfermedad.

Figura 15

Situación de la incidencia de (Ascochyta) en la arveja en el monocultivo versus el policultivo del modelo 2:Arveja-Maíz.

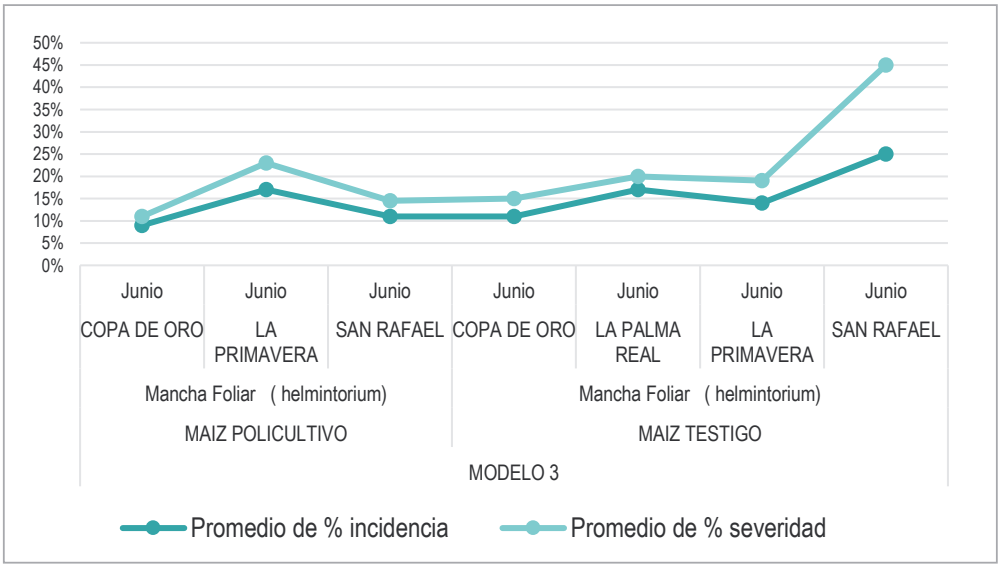


Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del comportamiento de la mancha por *Helminthosporium* en maíz en modelo 3 Maíz-Frijol-Arveja del municipio Soatá en el mes de junio de 2022 son contradictorios, mientras en las fincas Copa de Oro y San Rafael el policultivo tuvo menor incidencia y severidad que el monocultivo en la finca La Primavera ocurrió lo contrario (Figura 16).

Figura 16

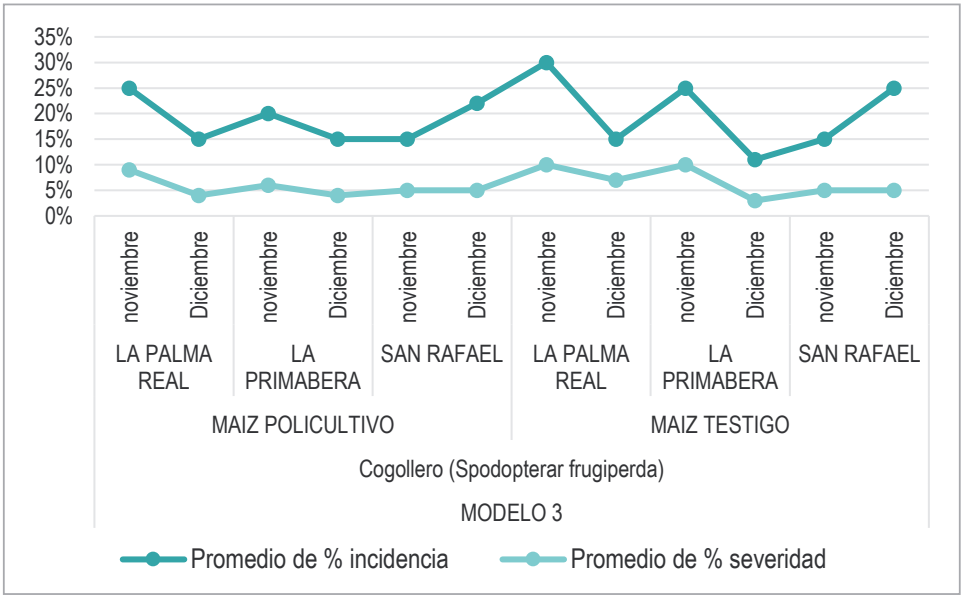
Situación de la incidencia de Helminthosporium en el maíz en el monocultivo versus el policultivo del modelo 3 Maíz-Frijol-Arveja del municipio Soatá.



Fuente: Elaboración propia.

La incidencia y severidad de *Spodoptera frugiperda* en maíz en modelo 3 Maíz-Frijol-Arveja del municipio Soatá en el mes de noviembre y diciembre se muestra en la Figura 17. El gráfico muestra que la incidencia tuvo una tendencia a presentar picos mayores en el testigo en los meses de noviembre en las fincas La Palma y La Primavera y en el mes de diciembre en la finca San Rafael en relación con los policultivos los mismos meses y fincas, lo que da una medida de que hubo algún beneficio del sistema de policultivo en relación con la incidencia de esta plaga.

Figura 17
Situación de la incidencia de Spodoptera frugiperda en el maíz en el monocultivo versus el policultivo del modelo 3 Maíz-Frijol-Arveja del municipio Soatá.



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

Los resultados del comportamiento del torque *Taphrina deformans* en el durazno en el modelo 1 Durazno-Maíz-Frijol son discordantes, sin embargo, en la parcela de policultivo se evidenciaron mayores picos de incidencia y severidad frente al monocultivo.

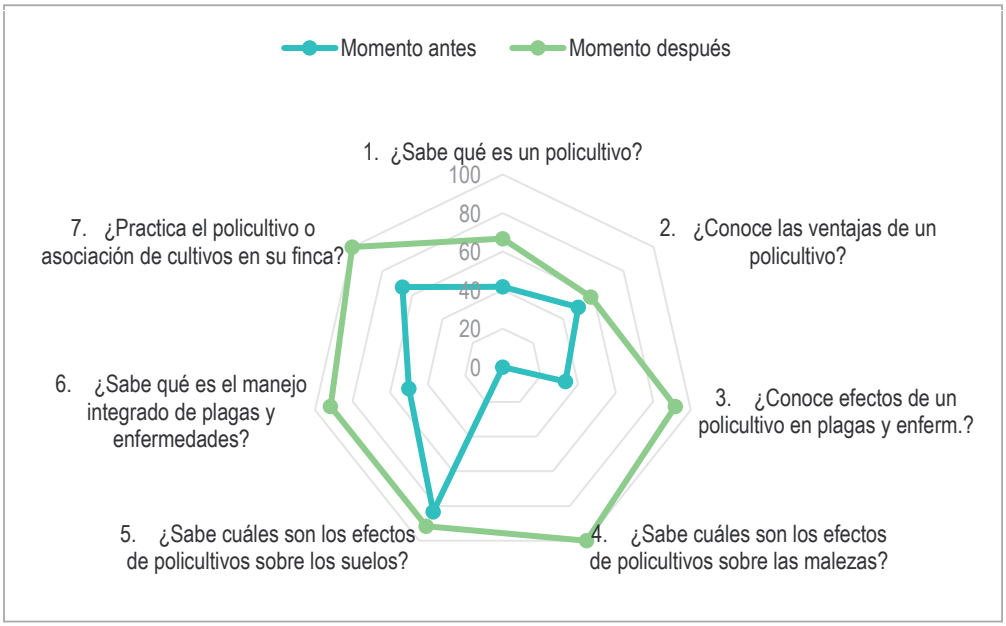
La incidencia y severidad de *Ascochyta* en arveja en el modelo 2 Arveja-Maíz mostró que la incidencia tuvo una tendencia a presentar picos mayores en el testigo en relación con el policultivo, lo que da una medida de que hubo algún beneficio del sistema de policultivo en relación con la incidencia de esta enfermedad.

El comportamiento de *Helminthosporium* en maíz en el modelo 3 Modelo 3: Maíz-Frijol-Arveja presentó resultados contradictorios, sin embargo, la incidencia *Spodoptera frugiperd*a tuvo una tendencia a presentar picos mayores en el testigo en relación con los policultivos en tres fincas.

Validación social del empleo de policultivos sobre la gestión del conocimiento y la implementación de prácticas agroecológicas

En la Figura 18, se presenta el porcentaje de respuesta positivas sobre el conocimiento de los policultivos para el momento *antes,* (línea color rojo) y para los puntajes obtenidos en el momento *después* (línea color verde). Se destaca que los porcentajes de respuesta de las preguntas analizadas reflejaron un nivel de conocimiento superior por parte de los agricultores en 2022, indicando que las actividades del proyecto lograron un cambio.

Figura 18
Porcentaje (%) respuestas positivas conocimientos, Soatá, 2022.



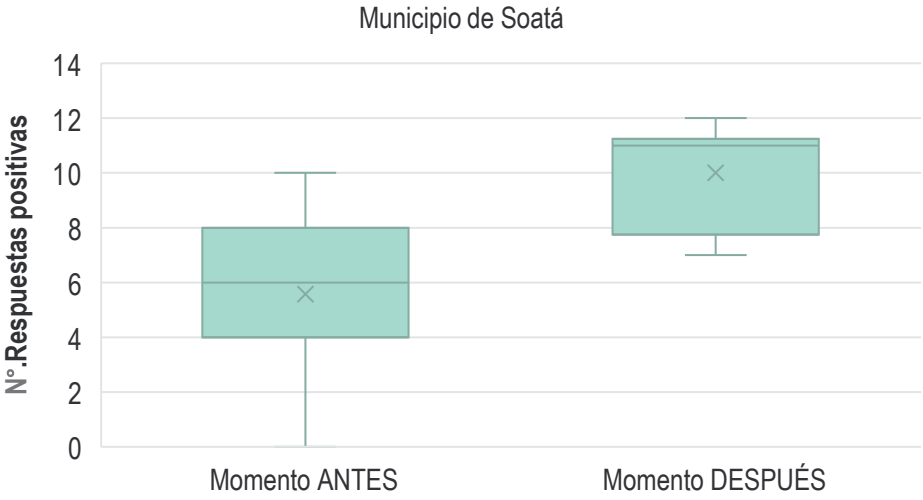
Fuente: Elaboración propia.

Las respuestas a las preguntas que se aproximaron más a un conocimiento deseado (100%) fueron la 3, 4, 5, 6 y 7, sin embargo, las que mostraron mayor aumento fueron las que indagaron sobre la sanidad vegetal, como conocimiento sobre efecto de los policultivos sobre las plagas y enfermedades, son los efectos de policultivos sobre

las malas hierbas, y sobre el concepto de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades.

Los resultados del diagrama de cajas (Figura 19), muestran mediante la letra x dentro de cada caja (valor de la mediana como medida estadística de posición central) que la frecuencia de respuesta positivas del momento 2022 fueron superiores a las del momento 2021 con diferencia estadística significativa (p-valor<5%), lo que significa un aumento significativo y diferencial del conocimiento sobre agroecología por parte de los agricultores a partir de haber participado en del proyecto.

Figura 19
+Puntajes promedio conocimientos sobre policultivos, Soatá, 2022



T de Student = -3,353 P valor=0,006*

*Hay diferencias significativas en las respuestas positivas por la prueba t de Student (p-valor<5%)

Fuente: Elaboración propia.

Valoración de la producción entre la parcela testigo y parcela de policultivos por modelos

En el modelo 1 en policultivo tuvo una producción total de 465 Kg de maíz y frijol, de las cuales se vendió a 6600 y 5600 pesos mcte respectivamente, precio por kilogramo.

Para el modelo 2 en policultivo se obtuvo una producción total de 830,5 Kg de arveja y maíz, de las cuales se vendió a 5100 y 1400 pesos mcte respectivamente, precio por kilogramo, mientras que en monocultivo se obtuvo una producción total de 822,5 Kg de arveja que fue vendida 4500 pesos mcte, respectivamente precio por kilogramo. El modelo 3 en policultivo se dio una producción total de 1897,5 Kg de maíz, arveja y frijol, de las cuales se vendió 4850, 4000 y 4800 pesos mcte precio por kilogramo, mientras que para monocultivo se dio 1837,5 Kg vendidos a 4800 pesos mcte por kilogramo.

Conclusiones parciales

Se observó un incremento significativo del conocimiento de los agricultores sobre agroecología como impacto social del proyecto y en particular, en las preguntas que indagaron sobre el efecto de los policultivos sobre las plagas y enfermedades, sobre las malezas y en relación con el concepto de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades.

A través de la validación socioeconómica se determinó que el mejor modelo en el municipio de Soatá fue en número 1: Durazno-Maíz-Frijol, ya que presentó el mejor desarrollo en policultivo y a niveles económicos ha sido muy rentable, siendo una fuente de ingresos a corto y largo plazo al presentar cultivos transitorios y perennes.

Recomendaciones en Soatá

- *Brindar más tiempo a proyectos de este tipo para así adecuar más las fechas de siembra y toma de datos, con el fin de tener más precisión en el seguimiento que se le hace a cada modelo agroecológico.*

- *Tener en cuenta en mayor medida la variabilidad climática de cada municipio ya que juega un papel importante en el desarrollo de un cultivo. Al no tenerla en cuenta en los cronogramas de siembra, se presenta perdida de material vegetal y se elevan índices de plagas y enfermedades.*

- *Socializar los resultados con los agricultores, asociaciones y decisores. Del mismo modo, continuar la validación y el seguimiento a los modelos de policultivos de mayor éxito en el municipio para así seguir generando impacto en los agricultores de la región.*

- *Se sugiere extender la asistencia técnica más allá de la etapa de desarrollo del cultivo abarcando también las etapas de producción y comercialización, esto permitirá fortalecer todos los eslabones de la cadena productiva y dinamizar la economía a nivel local y regional.*

- *Promover la implementación de herramientas y estrategias orientadas a los actores rurales para la protección de nacederos, fuentes de agua, la constitución de sistemas de almacenamiento y el uso adecuado de mejores técnicas de sistemas de riego para cada tipo de modelo.*

CAPÍTULO V
RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DE LOS MODELOS ASOCIATIVOS EN EL MUNICIPIO BELÉN

Ajuste de forma participativa de los modelos agrícolas asociativos propuestos inicialmente con los agricultores

No se presentaron cambios en los modelos agroecológicos durante el proceso de ajuste participativo en el municipio de Belén (Tabla 19).

Tabla 19
Resultado del ajuste participativo de los modelos policultivos y monocultivos para los diferentes ciclos en el municipio de Belén

Modelo 1	**Cultivos iniciales**			**Cultivos finales**	
		Especie	**Variedad**	**Principal**	**Especie**
	Principal	Papa	Superior	Papa	Superior
	Asociado	Papa	Superior	Papa	Superior
		Arveja	Santa Isabel	Arveja	Santa Isabel
	Testigo	Papa	Superior	Papa	Superior
Modelo 2	**Cultivos iniciales**			**Cultivos finales**	
		Especie	**Variedad**	**Principal**	**Especie**
	Principal	Papa	Criolla	Papa	Criolla
	Asociado	Papa	Criolla	Papa	Criolla
		Arveja	Santa Isabel	Arveja	Santa Isabel
	Testigo	Papa	Criolla	Papa	Criolla
Modelo 3	**Cultivos iniciales**			**Cultivos finales**	
		Especie	**Variedad**	**Principal**	**Especie**
	Principal	Maíz	Porva	Maíz	Porva
	Asociado	Maíz	Porva	Maíz	Porva
		Frijol	Bola roja	Frijol	Bola roja
	Testigo	Maíz	Porva	Maíz	Porva

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

No se presentaron cambios en el ajuste participativo con los agricultores de los modelos agrícolas asociativos propuestos en el municipio de Belén. Los tres modelos fueron validados y aprobados por los productores del municipio.

Influencia de la implementación de los modelos agrícolas asociativos sobre la calidad del agua

La comparación de las variables físico- químicas del agua después de establecidos los policultivos en las fincas, con relación a la situación inicial en el modelo 1 de Belén (Tabla 20), muestra que las únicas variables que tuvieron cambios con diferencias significativas fue el azufre (meq/L), el cobre (ppm) y el RAS; los demás elementos y propiedades no difirieron estadísticamente. La concentración de azufre aumentó significativamente, lo cual es positivo para el desarrollo metabólico de las plantas y su resistencia a factores adversos. La concentración del cobre disminuyó significativamente, aunque los valores finales pueden ayudar a suplir las necesidades de las plantas -en cierta etapa - se pueden limitar sus requerimientos fisiológicos. El RAS registrado indica baja peligrosidad sódica, por lo que su disminución significativa es muy favorable, sin embargo, siempre es recomendable efectuar riegos de lavado para evitar que se acumulen las sales en cantidades nocivas para las plantas.

Tabla 20
Comparación de las variables fisico-químicas del agua antes y después en el modelo de policultivo 1- Belén

Variables físico-químicas del agua	Media antes	Media después	Valor de t	*p-valor o Sig. Bilateral*
Sodio (meq / L)	0,2025	0,1200	1,915	0,106
Potasio (meq / L)	0,0175	0,0225	-0,632	0,552
Calcio (meq / L)	0,7550	0,9000	-0,330	0,753
Magnesio (meq / L)	0,2300	0,2600	-0,228	0,827
Amonio (meq / L)	0,0450	0,0350	0,577	0,590
Scationes	1,2475	1,3325	-0,138	0,895
Cloruros(meq/L)	0,1375	0,1650	-0,381	0,716

Azufre (meq/L)	0,0400	0,0950	-5,284	0,013 (*)
Carbonatos [a] (meq/L)	0,0500	0,0500	0,000	1,000
Bicarbonatos (meq/L)	1,6000	1,2000	0,516	0,624
N-NO3 (meq/L)	0,0560	0,0308	1,091	0,319
Fosfatos (meq/L)	0,0010	0,0013	-1,000	0,391
Saniones	1,8350	1,4925	0,487	0,644
Hierro (ppm)	0,4450	0,9300	-1,107	0,340
Manganeso (ppm)	0,0100	0,0425	-1,809	0,168
Cobre (ppm)	0,0225	0,0100	5,000	0,015 (*)
Zinc [a] (ppm)	0,0100	0,0100	0,000	1,000
Boro (ppm)	0,0525	0,0500	1,000	0,391
Dureza total mg/L)(CaCO3)	49,5000	58,0000	-0,300	0,775
pH	7,2600	7,4775	-0,781	0,482
C.E (mS/cm)	0,1550	0,1425	0,179	0,864
R.A.S.	0,3250	0,1525	3,510	0,026 (*)

[a]: No fue posible calcular la correlación ni la estadística t porque el error típico de la diferencia es 0
(*): P-valor < 0,05 indica diferencias significativas en las dos muestras analizadas

K: potasio; Na: sodio; Ca: calcio; Al: aluminio; Mg: S cationes: Suma de cationes; magnesio; CIC: capacidad de intercambio catiónico; P: fósforo; Cl: cloro; $N\text{-}NH_4^+$: nitrógeno disponible en forma amonio; $N\text{-}NO_3^-$: nitrógeno disponible en forma de nitrato; S aniones: Suma de aniones; Fe: hierro; S: azufre; Mn: manganeso; Zn: zinc; Cu: cobre; B: boro; pH: potencial de hidrógeno; RAS: Relación de absorción de sodio; CE: conductividad eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 21, se presentan los resultados de comparaciones de las variables fisicoquímicas del agua después de establecidos los policultivos con relación a antes para el modelo policultivo 2. Los elementos que presentaron una disminución con diferencia estadística significativa fueron sodio (meq/L), $N\text{-}NO_3$ (meq/L) y el RAS. Para el caso del sodio, es positivo ya que se reduce el riesgo de infiltración en el suelo al intercambiarse con otros iones y la afectación directa a los cultivos por elevada salinidad. Respecto al $N\text{-}NO_3$ se reduce el riesgo de contaminación y afectación de aguas subterráneas, pero es menos favorable para las plantas y esto puede estar provocado porque los cultivos extrajeron más cantidad de N que se administró en la fertilización. Referente al RAS indica un valor de baja peligrosidad sódica por lo cual las plantas no tendrían ninguna restricción en el uso del agua.

Tabla 21

Comparación de las variables fisico-químicas del agua antes y después del modelo de policultivo 2- Belén

Variables físico-químicas del agua	Media antes	Media después	Valor de t	*p-valor o Sig. Bilateral*
Sodio (meq / L)	0,2100	0,0875	4,782	0,003 (*)
Potasio (meq / L)	0,0375	0,0525	-0,898	0,408
Calcio (meq / L)	0,3075	0,3775	-0,385	0,714
Magnesio (meq / L)	0,0850	0,1225	-1,371	0,222
Amonio (meq / L)	0,0250	0,0350	-0,926	0,401
Scationes	0,6675	0,6725	-0,021	0,984
Cloruros(meq/L)	0,3425	0,2350	0,928	0,395
Azufre (meq/L)	0,0400	0,0925	-1,641	0,199
Carbonatos (meq/L)	0,0500	0,0500	0,000	1,000
Bicarbonatos (meq/L)	0,6875	0,2875	1,714	0,172
N-NO_3 (meq/L)	0,2393	0,0270	5,544	0,005(*)
Fosfatos [a] (meq/L)	0,0010	0,0010	0,000	1,000
Saniones	1,3075	0,6400	2,067	0,113
Hierro (ppm)	0,3675	1,2000	-1,977	0,122
Manganeso (ppm)	0,0275	0,0500	-0,703	0,512
Cobre (ppm)	0,0200	0,0100	2,449	0,092
Zinc [a] (ppm)	0,0100	0,0100	0,000	1,000
Boro [a] (ppm)	0,0500	0,0500	0,000	1,000
Dureza (mg/L)(CaCO3)	19,7500	24,7500	-0,506	0,632
pH	7,3625	7,4275	-0,562	0,595
C.E (mS/cm)	0,0925	0,0750	0,532	0,615
R.A.S	0,5575	0,1800	4,050	0,017 (*)
[a]: No fue posible calcular la correlación ni la estadística t porque el error típico de la diferencia es 0 (*): P-valor < 0,05 indica diferencias significativas en las dos muestras analizadas				
K: potasio; Na: sodio; Ca: calcio; Al: aluminio; Mg: S cationes: Suma de cationes; magnesio; CIC: capacidad de intercambio catiónico; P: fósforo; Cl: cloro; N-NH_4^+: nitrógeno disponible en forma amonio; N-NO_3^-: nitrógeno disponible en forma de nitrato; S aniones: Suma de aniones; Fe: hierro; S: azufre; Mn: manganeso; Zn: zinc; Cu: cobre; B: boro; pH: potencial de hidrógeno; RAS: Relación de absorción de sodio; CE: conductividad eléctrica.				

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 22, se presentan los resultados de comparaciones para el modelo policultivo 3. Se observa que los elementos sodio (meq/L) y cobre (ppm) presentaron una disminución significativa en el valor promedio del segundo muestreo. La concentración baja de sodio es positiva ya que no se afecta la permeabilidad del suelo, se reducen los riesgos de infiltración y hay mayor disponibilidad de oxígeno y

nutrientes para las plantas. Respecto a los valores finales de cobre pueden ayudar a suplir las necesidades de las plantas, sin embargo, niveles muy bajos pueden ocasionar clorosis y limitar el desarrollo fisiológico.

Tabla 22

Comparación de las variables fisico-químicas del agua antes y después en el modelo de policultivo 3- Belén

Variables Agroquímicas del agua	Media antes	Media después	Valor de t	*p-valor o Sig. Bilateral*
Sodio (meq / L)	0,1675	0,0900	2,623	0,046 (*)
Potasio (meq / L)	0,0575	0,0175	1,029	0,374
Calcio (meq / L)	0,2200	0,2500	-0,157	0,880
Magnesio (meq / L)	0,1100	0,1075	0,037	0,972
Amonio (meq / L)	0,0450	0,0375	0,342	0,747
Scationes	0,6025	0,5000	0,363	0,729
Cloruros(meq/L)	0,0950	0,1375	-1,172	0,286
Azufre (meq/L)	0,0400	0,1500	-1,000	0,391
Carbonatos (meq/L)	0,0500	0,0500	0,000	1,000
Bicarbonatos (meq/L)	0,9375	0,3375	1,709	0,140
N-NO3 (meq/L)	0,0775	0,0695	0,134	0,901
Fosfatos (meq/L)	0,0033	0,0018	0,652	0,557
Saniones	1,1575	0,6825	1,322	0,236
Hierro (ppm)	0,5350	0,6600	-0,190	0,856
Manganeso (ppm)	0,0100	0,0400	-1,260	0,297
Cobre (ppm)	0,0225	0,0100	5,000	0,015 (*)
Zinc (ppm)	0,0100	0,0100	0,000	1,000
Boro (ppm)	0,0500	0,0500	0,000	1,000
Dureza total mg/L)(CaCO3)	16,7500	17,7500	-0,079	0,939
pH	7,2200	7,0550	1,066	0,330
C,E, (mS/cm)	0,0750	0,0525	0,731	0,494
RAS	0,5225	0,2475	2,447	0,078

[a]: No fue posible calcular la correlación ni la estadística t porque el error típico de la diferencia es 0

(*): P-valor < 0,05 indica diferencias significativas en las dos muestras analizadas

K: potasio; Na: sodio; Ca: calcio; Al: aluminio; Mg: S cationes: Suma de cationes; magnesio; CIC: capacidad de intercambio catiónico; P: fósforo; Cl: cloro; $N\text{-}NH_4^+$: nitrógeno disponible en forma amonio; $N\text{-}NO_3^-$: nitrógeno disponible en forma de nitrato; S aniones: Suma de aniones; Fe: hierro; S: azufre; Mn: manganeso; Zn: zinc; Cu: cobre; B: boro; pH: potencial de hidrógeno; RAS: Relación de absorción de sodio; CE: conductividad eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

La implementación de los modelos de policultivos en el municipio de Belén influenciaron poco las propiedades fisicoquímicas del agua de riego, sin embargo, cuando los cambios fueron significativos favorecieron la calidad de la agua en todos los casos como aumento del azufre y la disminución de la concentración del cobre y el RAS en el modelo 1 (Papa-Arveja vs Papa Testigo), la disminución de sodio (meq/L) y el RAS en el modelo 2 (Papa Criolla-Arveja y Papa Testigo), no así, la disminución del $N\text{-}NO_3$ (meq/L) , mientras que la disminución de sodio y cobre en el modelo 3 (Maíz-Frijol y Maíz Testigo) también fue favorable.

Influencia de la implementación de los modelos agrícolas asociativos sobre las variables físico- químicas del suelo

La comparación de las variables físico- químicas del suelo después de establecidos los policultivos en las fincas con relación a la situación final del monocultivo en el modelo 1 de Belén (Tabla 23) se observa que no hubo diferencias importantes a nivel estadístico (p-valor >5%) entre las dos parcelas. Los resultados evidenciados son positivos en ambas parcelas, se presentan bajos niveles de sales, suficiente calcio y altas concentraciones de potasio lo cual contribuye a un buen desarrollo de los cultivos en etapa de engruese y llenado de frutos, reduciendo costos en fertilizantes.

Tabla 23
Análisis de la comparación entre la parcela policultivo y la testigo (monocultivo) para las variables fisico-químicas más importantes del suelo para el modelo 1- Belén 2022

Variables físico-químicas del suelo	Media policultivo	Media testigo	Valor de t	*p-valor o Sig. Bilateral*
Potasio (meq /100 cc)	0,5975	0,5250	0,337	0,748
Calcio (meq / 100 cc)	5,075	4,2750	0,193	0,853
Magnesio (meq / 100 cc)	0,8825	1,1225	-0,310	0,767
Sodio (meq /L)	0,2325	0,2800	-0,848	0,429
Aluminio (meq /100 cc)	1,310	1,4675	-0,158	0,880
C.I.C (meq / 100 g)	34,220	29,8475	1,160	0,290
Cloruros (meq/100 cc)	1,3750	1,5550	-0,338	0,747
Fósforo (ppm)	85,750	78,750	0,225	0,830

N-NH_4 (ppm)	21,000	15,500	0,944	0,406
N-NO_3 (ppm)	67,500	75,000	-0,311	0,766
Azufre (ppm)	7,250	24,750	-1,712	0,181
Hierro (ppm)	406,000	353,500	0,558	0,597
Manganeso (ppm)	7,500	9,7500	-0,543	0,606
Cobre (ppm)	0,375	0,300	0,429	0,683
Zinc (ppm)	1,675	1,550	0,219	0,834
Boro (ppm)	0,3075	0,3275	-0,204	0,848
pH	5,003	4,955	0,127	0,903
C.E (mS/cm)	0,5500	0,670	-0,667	0,530
Materia orgánica (%)	16,545	13,1225	1,375	0,261
Carbono orgánico (%)	9,5975	7,6150	1,373	0,262
Saturación bases (%)	71,000	69,000	0,092	0,930
Densidad aparente (g/cc)	0,7900	0,7975	-0,101	0,923
[a]: No fue posible calcular la correlación ni la estadística t porque el error típico de la diferencia es 0 (*): P-valor < 0,05 indica diferencias significativas en las dos muestras analizadas.				
CIC: capacidad de intercambio catiónico; N-NH_4^+: nitrógeno disponible en forma de amonio; N-NO_3^-: nitrógeno disponible en forma de nitrato; pH: potencial de hidrógeno; C.E: conductividad eléctrica.				

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la Tabla 24 mostraron que para el modelo 2, no hubo incrementos o disminuciones importantes (p-valor >5%) en las variables físico- químicas del suelo medidas en las parcelas policultivos y testigo (monocultivo). El elemento manganeso (ppm) permaneció constante en las dos mediciones. Algunas disminuciones sin importancia se presentaron en las concentraciones de la parcela testigo (monocultivo) en los elementos fósforo (ppm), N-NH4 (ppm), hierro (ppm), cobre (ppm), zinc (ppm), materia orgánica (%) y carbono orgánico (%).

Tabla 24

Análisis de la comparación entre la parcela policultivo y la testigo (monocultivo) para las variables fisicoquímicas más importantes del suelo para el modelo 2- Belén, 2022

Variables físico- químicas del suelo	Media policultivo	Media testigo	Valor de t	p-valor o Sig. Bilateral
Potasio (meq /100 cc)	0,6050	0,5000	1,020	0,347
Calcio (meq / 100 cc)	3,9575	1,5500	0,913	0,397
Magnesio (meq / 100 cc)	0,9125	0,4325	1,438	0,201
Sodio (meq /L)	0,3600	0,3550	0,087	0,934

Aluminio (meq /100 cc)	1,0500	1,7150	-1,036	0,340
C.I.C (meq / 100 g)	31,7325	34,7550	-0,510	0,628
Cloruros (meq/100 cc)	1,4050	1,2150	0,502	0,633
Fósforo (ppm)	86,2500	108,2500	-0,335	0,749
N-NH4 (ppm)	19,7500	28,5000	-1,449	0,219
N-NO3 (ppm)	95,0000	70,000	0,974	0,368
Azufre (ppm)	10,2500	5,0000	1,930	0,102
Hierro (ppm)	383,7500	407,000	-0,232	0,824
Manganeso [a] (ppm)	8,0000	8,0000	0,000	1,000
Cobre (ppm)	0,2500	0,2750	-0,311	0,766
Zinc (ppm)	1,3500	1,4250	-0,361	0,730
Boro (ppm)	0,3850	0,2375	1,204	0,274
pH	4,7800	4,5975	0,570	0,589
C.E (mS/cm)	0,7825	0,6825	0,534	0,612
Materia orgánica (%)	17,1075	18,7550	-0,321	0,759
Carbono orgánico (%)	9,9225	10,8775	-0,321	0,759
Saturación bases (%)	74,2500	53,7500	1,137	0,299
Densidad aparente (g/cc)	0,9300	0,8425	0,820	0,444
[a]: No fue posible calcular la correlación ni la estadística t porque el error típico de la diferencia es 0 (*): P- valor < 0,05 indica diferencias significativas en las dos muestras analizadas.				
CIC: capacidad de intercambio catiónico; N-NH_4^+: nitrógeno disponible en forma de amonio; N-NO_3^-: nitrógeno disponible en forma de nitrato; pH: potencial de hidrógeno; C.E: conductividad eléctrica.				

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados en la Tabla 25 evidenciaron que para en el modelo 3, sólo se presentó un incremento importante en “% Saturación bases” (p-valor <5%). El elemento cobre permaneció constante en las dos mediciones. Una ligera disminución en la concentración se presentó en la parcela testigo (monocultivo) en los elementos de aluminio, cloruros, N-NH4, N-NH3, hierro, boro, C.E, materia orgánica (%), carbono orgánico (%), saturación bases (%). El aumento de la saturación de bases es algo positivo ya que indica que el pH del suelo va llegando a un estado más neutral favoreciendo el crecimiento y desarrollo fisiológico de los cultivos.

Tabla 25

Análisis de la comparación entre la parcela policultivo y la testigo (monocultivo) para las variables fisicoquímicas más importantes del suelo para el modelo 3- Belén, 2022

Variables físico-químicas del suelo	Media policultivo	Media testigo	Valor de t	*p-valor o Sig. Bilateral*
Potasio (meq /100 cc)	0,3325	0,2975	0,315	0,764
Calcio (meq / 100 cc)	3,4400	2,9950	0,148	0,887
Magnesio (meq / 100 cc)	0,8200	0,6500	0,287	0,784
Sodio (meq /L)	0,2275	0,2250	0,091	0,930
Aluminio (meq /100 cc)	1,1975	1,2950	-0,103	0,921
C.I.C (meq / 100 g)	26,6925	26,4050	0,113	0,913
Cloruros (meq/100 cc)	0,5950	0,6050	-0,113	0,913
Fósforo (ppm)	13,7500	8,2500	0,707	0,514
N-NH4 (ppm)	19,0000	26,5000	-0,858	0,424
N-NO3 (ppm)	8,7500	15,0000	-1,213	0,271
Azufre (ppm)	3,7500	2,0000	1,481	0,189
Hierro (ppm)	294,5000	490,5000	-1,466	0,193
Manganeso (ppm)	13,7500	9,0000	0,555	0,599
Cobre [a] (ppm)	0,3000	0,3000	0,000	1,000
Zinc (ppm)	0,7750	0,6500	0,313	0,765
Boro (ppm)	0,1100	0,2325	-1,653	0,149
pH	5,0925	4,9700	0,420	0,689
C.E (mS/cm)	0,1625	0,2100	-0,979	0,366
Materia orgánica (%)	7,2675	8,0800	-0,481	0,654
Carbono orgánico (%)	4,2175	4,6900	-0,484	0,653
Saturación bases (%)	64,0000	66,2500	-0,096	0,927
Densidad aparente (g/cc)	0,9325	0,9225	0,136	0,896
[a]: No fue posible calcular la correlación ni la estadística t porque el error típico de la diferencia es 0 (*): P-valor < 0,05 indica diferencias significativas en las dos muestras analizadas				
CIC: capacidad de intercambio catiónico; N-NH_4^+: nitrógeno disponible en forma de amonio; N-NO_3^-: nitrógeno disponible en forma de nitrato; pH: potencial de hidrógeno; C.E: conductividad eléctrica.				

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

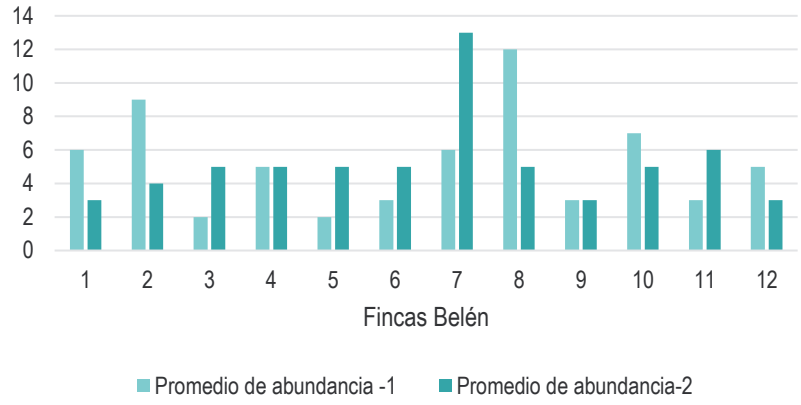
Los modelos de policultivos implementados en el municipio de Belén tuvieron poca influencia sobre las propiedades físico-químicas del suelo en el modelo 1 (Papa-Arveja y Papa Testigo) y modelo 2 (Papa criolla-Arveja y Papa Testigo), mientras que en el modelo 3 (Maíz-Frijol y Maíz Testigo) se presentó un aumento significativo en el porcentaje de saturación de bases.

Influencia de la implementación de los modelos agrícolas asociativos sobre las variables biológicas del suelo

Macrofauna

No fue uniforme el comportamiento de la abundancia de la macrofauna del suelo en las fincas después de implementados los policultivos con respecto al inicio. Las poblaciones variaron entre 2 y 12 individuos (finca Buenos Aires) y después entre 3 y 13 (finca El Pino). Las poblaciones disminuyeron en 5 fincas, aumentaron en 5 y se mantuvieron en dos (Figura 20).

Figura 20
Abundancia de la macrofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Belén.

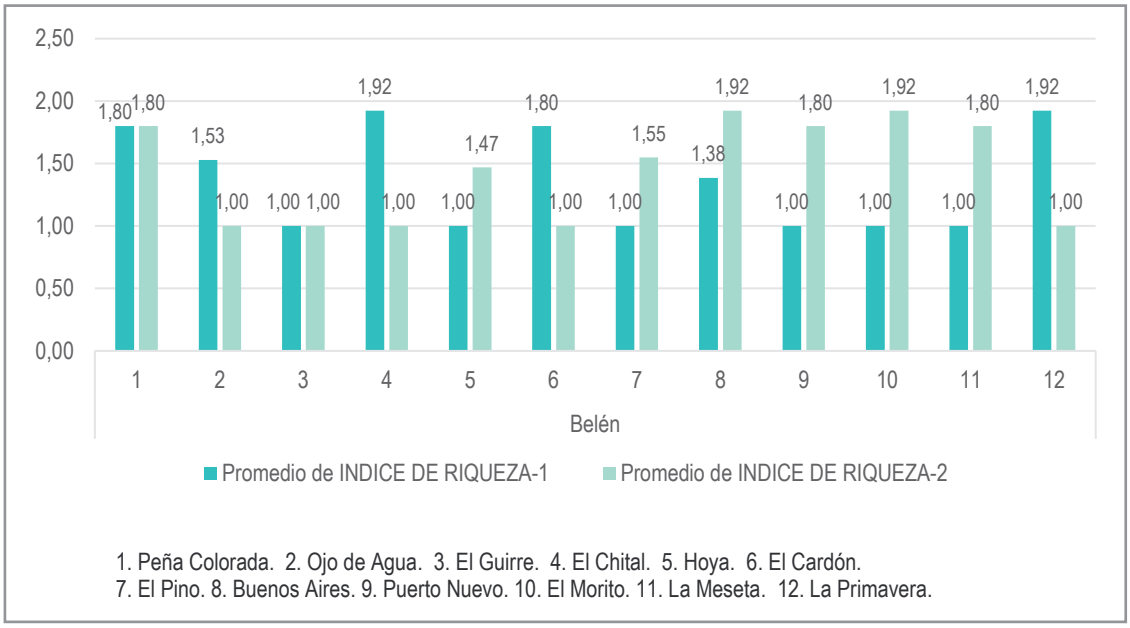


1. Peña Colorada, 2. Ojo de Agua, 3. El Guirre, 4. El Chital, 5. Hoya, 6. El Cardón, 7. El Pino, 8. Buenos Aires, 9. Puerto Nuevo, 10. El Morito, 11. La Meseta, 12. La Primavera.

Fuente: Elaboración propia.

De forma similar a la abundancia, la riqueza específica de la macrofauna del suelo aumentó en seis fincas, disminuyó en cuatro y no tuvo variación en dos con la implementación de los policultivos, por lo que en la mayoría de las fincas no hubo perturbación del número de especies de la macrofauna (Figura 21), sin embargo, en ningún caso la riqueza fue mayor de 2, lo que se considera una baja biodiversidad.

Figura 21
Riqueza específica de la macrofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Belén.



1. Peña Colorada. 2. Ojo de Agua. 3. El Guirre. 4. El Chital. 5. Hoya. 6. El Cardón.
7. El Pino. 8. Buenos Aires. 9. Puerto Nuevo. 10. El Morito. 11. La Meseta. 12. La Primavera.

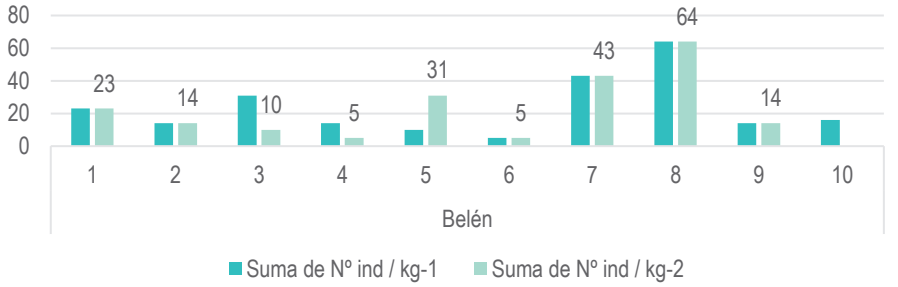
Fuente: Elaboración propia.

Mesofauna

No se observó uniformidad en el comportamiento de la abundancia de la mesofauna del suelo en los predios después de implementados los policultivos con respecto al inicio. De los predios que se evaluaron en tres predios disminuyó, en uno aumentó y en seis se mantuvo constante. Al inicio las poblaciones variaron entre 2 y 62 individuos/kg (finca Buenos Aires) y después entre 0 y 42 (finca El Pino) (Figura 22).

Figura 22

Abundancia de la mesofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Belén.

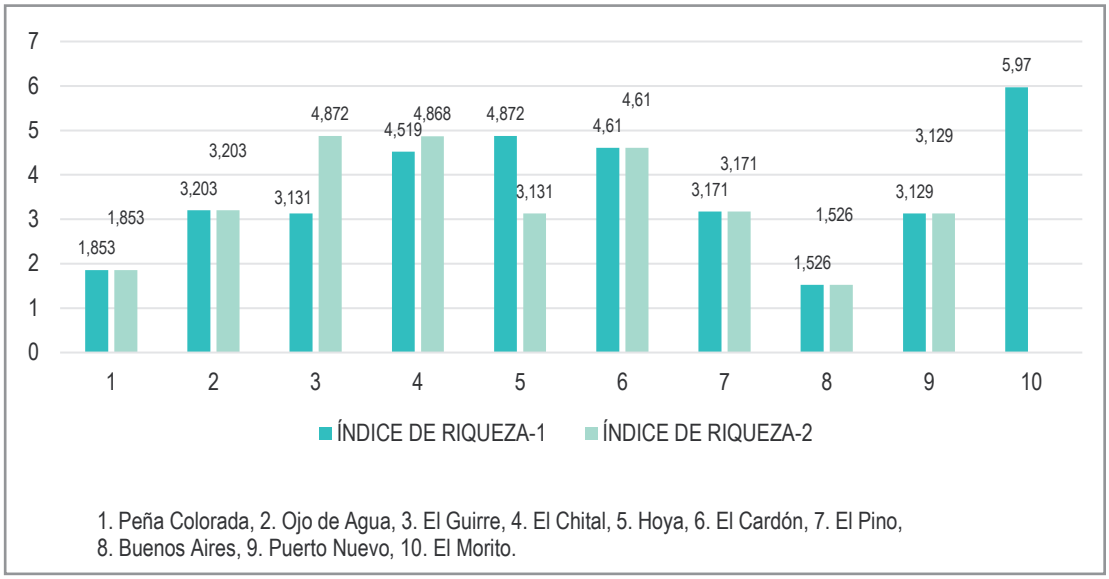


1. Peña Colorada, 2. Ojo de Agua, 3. El Guirre, 4. El Chital, 5. Hoya, 6. El Cardón, 7. El Pino, 8. Buenos Aires, 9. Puerto Nuevo, 10. El Morito.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los niveles de riqueza no se observó uniformidad en las fincas después de implementados los policultivos. En dos predios aumentaron los niveles de riqueza, en dos se redujo y en seis se mantuvo constante. (Figura 23). Resulta importante que la intervención del proyecto en las fincas en general no afectó la riqueza de la mesofauna y que en siete de las 10 fincas se mantuviera por encima de tres, lo que de alguna forma estaba permitiendo una actividad adecuada en la trasformación de la materia orgánica y en la cadena trófica de los pequeños invertebrados.

Figura 23
Riqueza de la mesofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Belén.



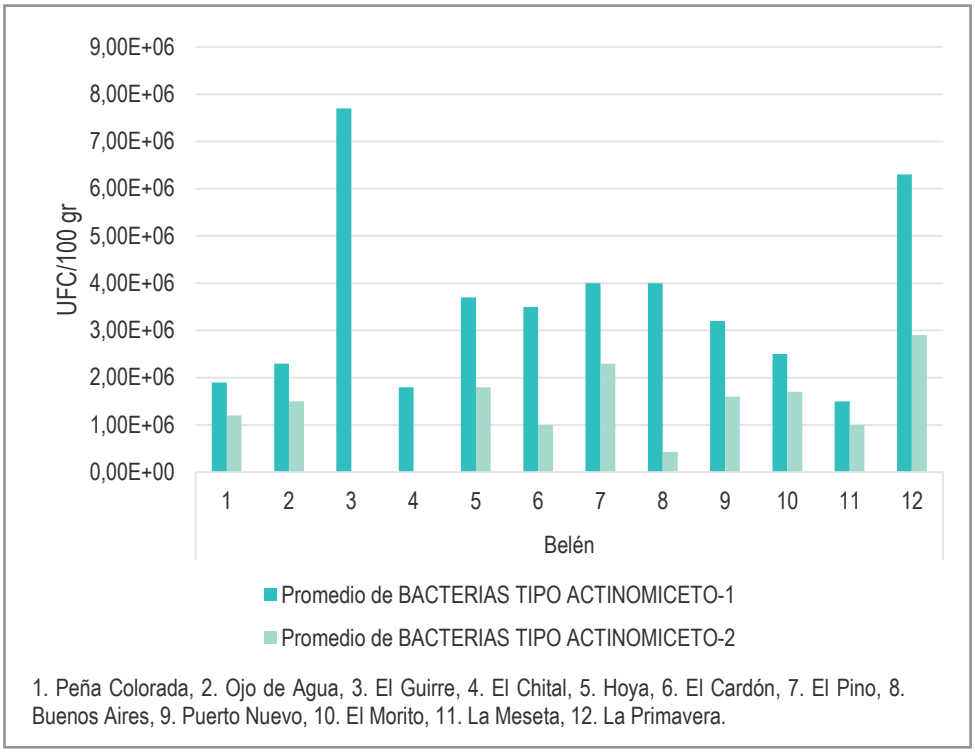
1. Peña Colorada, 2. Ojo de Agua, 3. El Guirre, 4. El Chital, 5. Hoya, 6. El Cardón, 7. El Pino, 8. Buenos Aires, 9. Puerto Nuevo, 10. El Morito.

Fuente: Elaboración propia.

Microbiología

Las poblaciones de actinomicetos disminuyeron en todas las fincas después de implementados los policultivos con respecto al inicio. Para las poblaciones más altas en el inicio del muestreo, fue la finca El Guirre entre 7 y $8x10^6$ UCF y las más bajas después del muestreo fue en la finca El Chital con registro por debajo de 10^6 UCF/100 g de suelo en el segundo muestreo (Figura 24). Esto se es un indicativo que las prácticas de los agricultores en las fincas no estaban favoreciendo este grupo de microorganismos, las cuales juegan un papel importante en muchos procesos biológicos del suelo como antagonistas o como solubilizadores de fósforo.

Figura 24
Poblaciones de actinomicetos del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Belén.

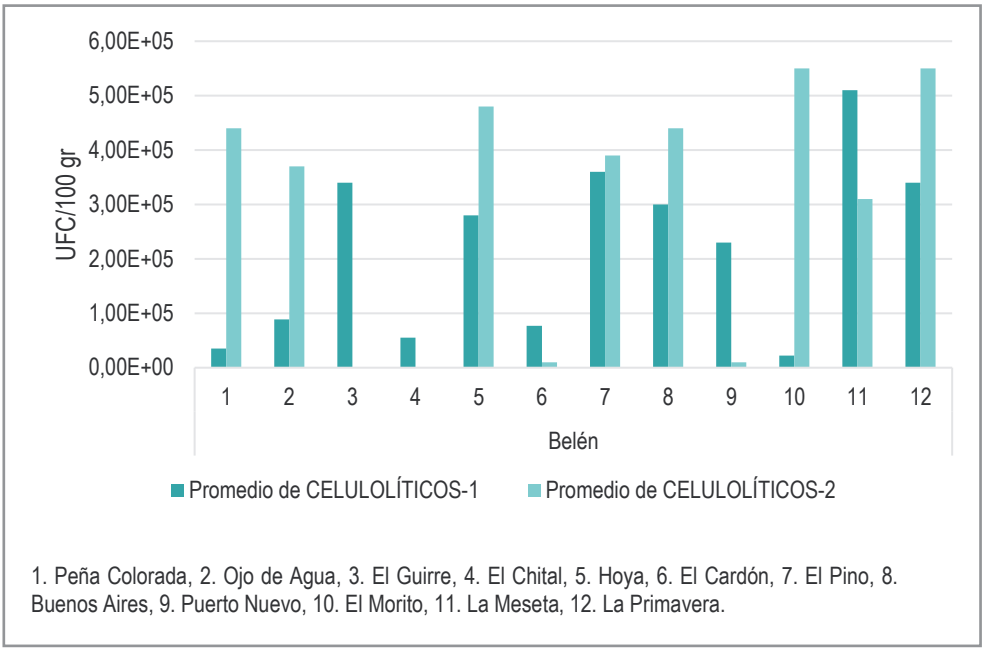


1. Peña Colorada, 2. Ojo de Agua, 3. El Guirre, 4. El Chital, 5. Hoya, 6. El Cardón, 7. El Pino, 8. Buenos Aires, 9. Puerto Nuevo, 10. El Morito, 11. La Meseta, 12. La Primavera.

Fuente: Elaboración propia.

Las poblaciones de microorganismos celulíticos aumentaron en 7 de las 12 fincas, después de implementados los policultivos con respecto al inicio. Estuvieron en cero después en las fincas El Guirre y El Chital. Las poblaciones más altas antes estuvieron en la finca La Meseta con $5.5x10^5$ y las más altas después en las fincas El Morito y La Primavera con $5.5x10^5$ UCF (Figura 25).

Figura 25
Poblaciones de los microorganismos celulíticos del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Belén.

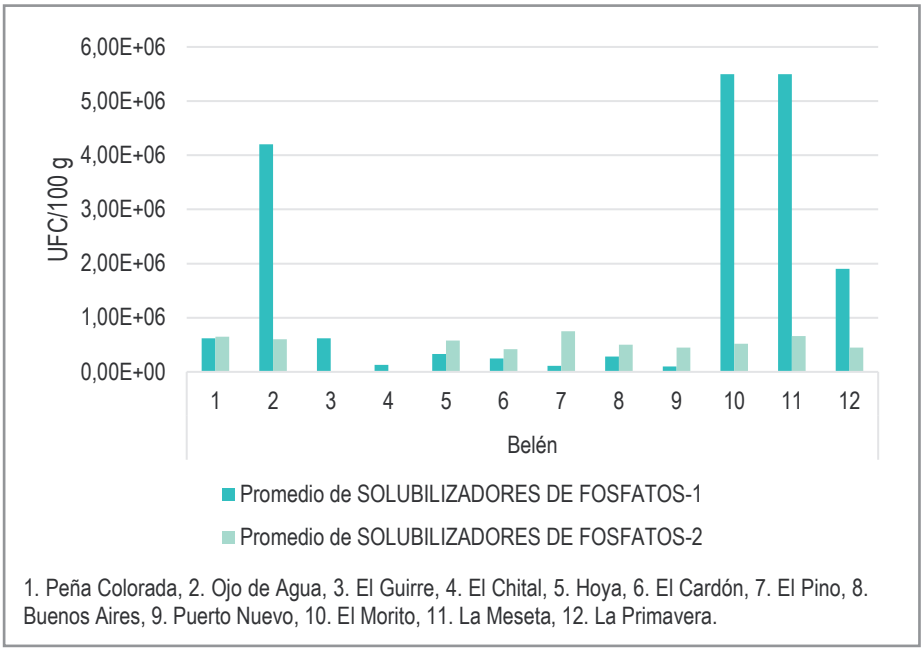


1. Peña Colorada, 2. Ojo de Agua, 3. El Guirre, 4. El Chital, 5. Hoya, 6. El Cardón, 7. El Pino, 8. Buenos Aires, 9. Puerto Nuevo, 10. El Morito, 11. La Meseta, 12. La Primavera.

Fuente: Elaboración propia.

Las poblaciones de microorganismos solubilizadores de fósforo aumentaron en 6 de las 12 fincas, después de la implementación los policultivos con respecto al muestreo inicial. Estuvieron en cero después de establecidos los policultivos en las fincas El Guirre y El Chital. Las poblaciones más altas al inicio fueron en las fincas Ojo de Agua (4,0 x10^6 UCF), El Morito y La Meseta (5,5x10^6 UCF) (Figura 26) sin embargo en la segunda evaluación descendieron las poblaciones por debajo de 1,0 x10^6 UCF, A pesar de esta dinámica de las poblaciones se debe señalar que poblaciones 10^6 UCF/100 g se suelo resultan altas y son muy favorables a los procesos de solubilización de fósforo.

Figura 26
Poblaciones microorganismos solubilizadores de fósforo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Belén.

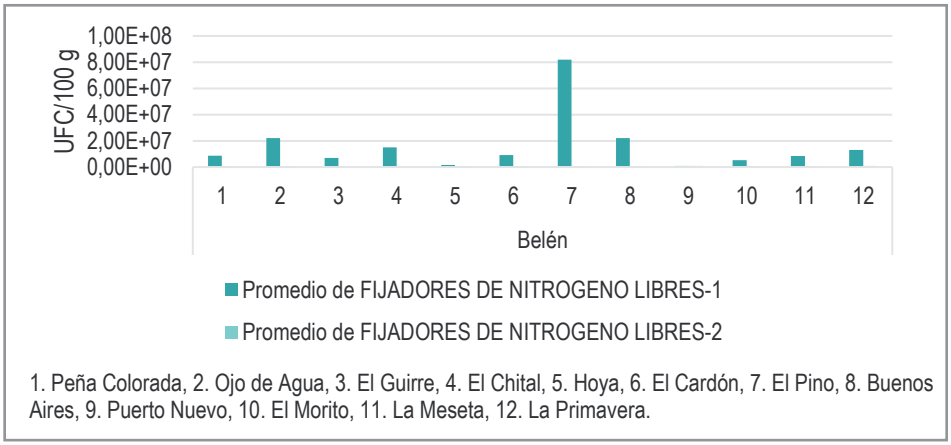


1. Peña Colorada, 2. Ojo de Agua, 3. El Guirre, 4. El Chital, 5. Hoya, 6. El Cardón, 7. El Pino, 8. Buenos Aires, 9. Puerto Nuevo, 10. El Morito, 11. La Meseta, 12. La Primavera.

Fuente: Elaboración propia.

Las poblaciones de microorganismos fijadores de N disminuyeron en todas las fincas después de implementados los policultivos con respecto al inicio. Estuvieron en niveles no detectables en las concentraciones de 1,0 x10^7 UCF en el segundo muestreo en las fincas El Guirre y El Chital. Las poblaciones más altas al inicio fueron en la finca El Pino 8x10^7 UCF (Figura 27). Se puede decir que hubo un impacto negativo sobre estos fijadores de N ya que en ningún predio se evidenció aumento, sin embargo, los niveles detectados en la mayoría de las fincas superior a 1,0 x10^7 UCF, es un indicativo de buena actividad de estos microorganismos.

Figura 27
Poblaciones microorganismos fijadores de N en el suelo de las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Belén.

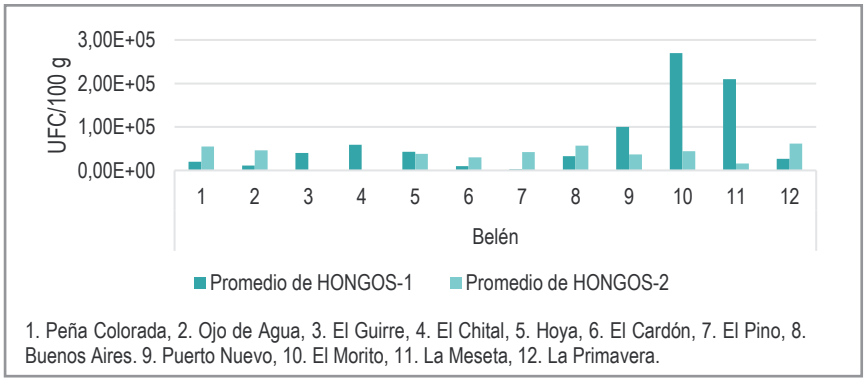


1. Peña Colorada, 2. Ojo de Agua, 3. El Guirre, 4. El Chital, 5. Hoya, 6. El Cardón, 7. El Pino, 8. Buenos Aires, 9. Puerto Nuevo, 10. El Morito, 11. La Meseta, 12. La Primavera.

Fuente: Elaboración propia.

Las poblaciones de hongos en el suelo aumentaron en 6 de las 12 fincas, después de implementados los policultivos con respecto al inicio. No fueron detectables al nivel de 1,0 x10^5 UCF, en las fincas El Guirre y El Chital. Las poblaciones más altas al inicio fueron en la finca El Morito 62,7x10^4 UCF y las más altas en el segundo muestreo en la finca La Primavera con 0,7x10^4 UCF (Figura 28).

Figura 28
Poblaciones de hongos en el suelo de las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Belén.

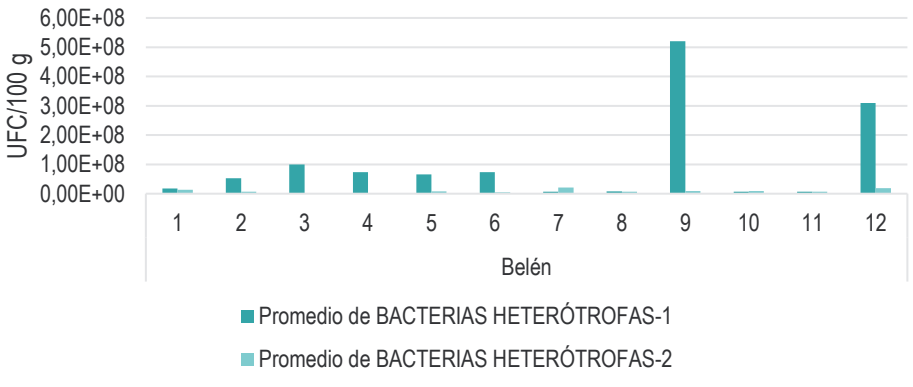


1. Peña Colorada, 2. Ojo de Agua, 3. El Guirre, 4. El Chital, 5. Hoya, 6. El Cardón, 7. El Pino, 8. Buenos Aires. 9. Puerto Nuevo, 10. El Morito, 11. La Meseta, 12. La Primavera.

Fuente: Elaboración propia.

Las poblaciones de bacterias heterótrofas disminuyeron en 8 de las 12 fincas, después de implementados los policultivos con respecto al inicio y se mantuvieron similares en una. No fueron detectables al nivel de 1,0 x10^8 UCF en las fincas El Guirre y El Chital. Las poblaciones más altas al inicio fueron en la finca Puerto Nuevo 5,2x10^8 UCF (Figura 29), aunque en general estaban por encima de 1,0 x10^8 en los dos momentos, lo que era muy favorable por el papel beneficioso de esas bacterias en el suelo.

Figura 29
Poblaciones de bacterias heterótrofas del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio Belén.



1. Peña Colorada, 2. Ojo de Agua, 3. El Guirre, 4. El Chital, 5. Hoya, 6. El Cardón, 7. El Pino, 8. Buenos Aires, 9. Puerto Nuevo, 10. El Morito, 11. La Meseta, 12. La Primavera.

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

Las poblaciones de macrofauna eran bajas y de alguna forma se vieron desfavorecidas por la implementación de los policultivos, mientras que sobre las poblaciones de mesofauna tuvieron poca influencia. Con relación a los microorganismos, disminuyeron en la mayoría de las fincas las poblaciones de actinomicetos, de microrganismos celulíticos, los solubilizadores de fósforo y los hongos, con la implementación de los policultivos. Los fijadores de N se redujeron en los doce predios estudiados. Por lo tanto, la intervención de los policultivos no tuvo un efecto favorable sobre la biota del suelo.

Validación de los modelos agrícolas asociativos desde el punto de población, desarrollo y producción

Población de plantas

No se evidenció diferencia estadística entre las parcelas de policultivos y las parcelas testigos en cuanto a la variable población. De acuerdo con la medición de variables morfométricas realizada en el modelo agroecológico 1 se pudo evidenciar que no se presentó diferencia estadística significativa en cuanto a las variables de población, altura y número de tallos en el cultivo de papa entre la parcela policultivo y monocultivo (Tabla 26).

Tabla 26
Resumen población (%) y variables morfométricas modelo 1 – Belén

Modelo 1. Cultivo principal Papa				
Cultivo	Modelo	Media	t-student	Sig. o p-valor
Población (%)	Parc. policultivo	90,0000	0,000	1,000
	Parc. monocultivo	90,0000		
Altura (cm)	Parc. policultivo	50,3217	0,700	0,491
	Parc.monocultivo	44,6367		
Número de tallos	Parc. policultivo	2,4983	-0,154	0,879
	Parc. monocultivo	2,5142		

Fuente: Elaboración propia.

No se manifestó diferencia estadística entre las parcelas de policultivos y las parcelas testigos en cuanto a la variable población. Al analizar la medición de variables morfométricas realizadas en el modelo 2 se pudo evidenciar que no se presentó diferencia estadística significativa en cuanto a las variables de población, altura y número de tallos en el cultivo de papa criolla entre la parcela policultivo y monocultivo (Tabla 27).

Tabla 27
Resumen población (%) y variables morfométricas modelo 2 – Belén

Modelo 2. Cultivo principal Papa Criolla				
Cultivo	Modelo	Media	t-student	Sig. o p-valor
Población (%)	Parc. policultivo	90,0000	-0,340	0,737

	Parc. monocultivo	90,8333		
Altura (cm)	Parc.policultivo	49,0267	0,214	0,833
	Parc. monocultivo	47,1017		
Número de tallos	Parc. policultivo	2,5058	0,394	0,698
	Parc. monocultivo	2,4767		

Fuente: Elaboración propia.

No hubo diferencia significativa en cuanto a población de plantas entre la parcela testigo y la parcela de policultivo. Al analizar la medición de variables morfométricas realizadas en el modelo 3, se pudo evidenciar que las variables altura, diámetro y número de mazorcas no presentaron diferencia estadística significativa en el cultivo de maíz entre la parcela policultivo y monocultivo (Tabla 28).

Tabla 28
Resumen población (%) y variables morfométricas modelo 3 – Belén

Modelo 3. Cultivo principal Maíz				
Cultivo	Modelo	Media	t-student	Sig. o p-valor
Población (%)	Parc. policultivo	88,7500	0,000	1,000
	Parc. monocultivo	88,7500		
Altura (cm)	Parc. policultivo	61,2192	-0,241	0,812
	Parc. monocultivo	65,5100		
Número de mazorcas	Parc. policultivo	1,7175	0,320	0,752
	Parc. monocultivo	1,5983		

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

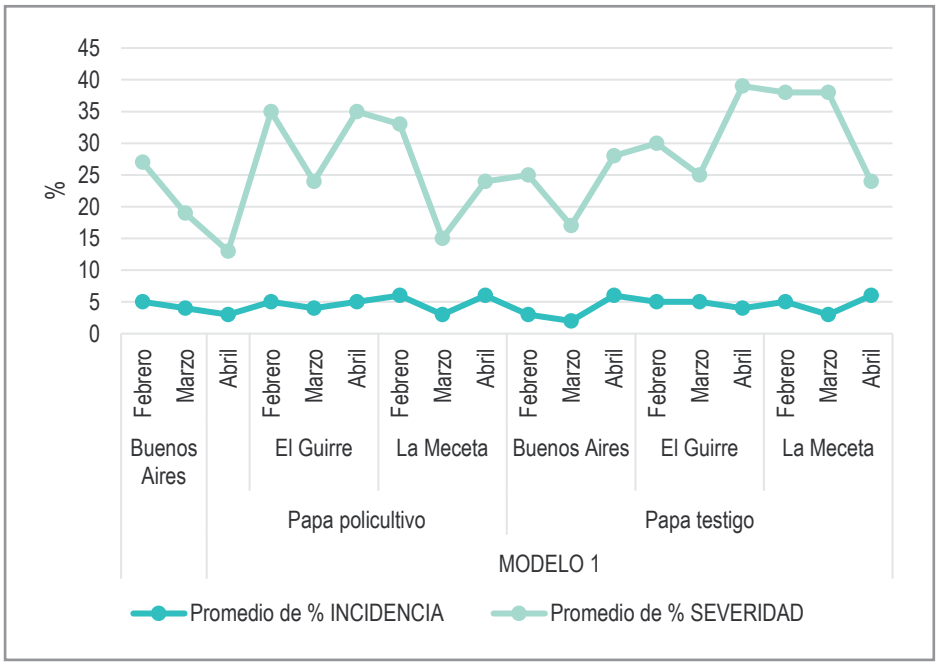
No hubo diferencia significativa en cuanto a población de plantas entre la parcela testigo y la parcela de policultivo en ninguno de los tres modelos de estudio. Teniendo en cuenta la medición de variables morfométricas en la implementación de los modelos de policultivos en el municipio de Belén, no presentó diferencias significativas en las variables morfométricas de los cultivos principales en los sistemas de cultivo. Teniendo en cuenta que los modelos fueron: Modelo 1 (Papa-Arveja y Papa Testigo), modelo 2 (Papa criolla-Arveja y Papa Testigo) y modelo 3 (Maíz-Frijol y Maíz Testigo).

Incidencia y dinámica de las plagas y enfermedades, correlación con datos meteorológicos

Los resultados del comportamiento del *Phytophtora infestans* en papa en el modelo 1 Papa superior-Arveja del municipio de Belén, en los meses febrero-abril de 2022, presentaron algunas variaciones en incidencia siendo el pico más alto en el mes de abril, esto posiblemente a el aumento de lluvias (Finca El Guirre). Se pudo observar que la arveja redujo incidencia en el policultivo (Figura 30).

Figura 30

Situación de la incidencia de Phytophtora infestans en papa en el monocultivo versus el policultivo del modelo 1: Papa superior-Arveja.



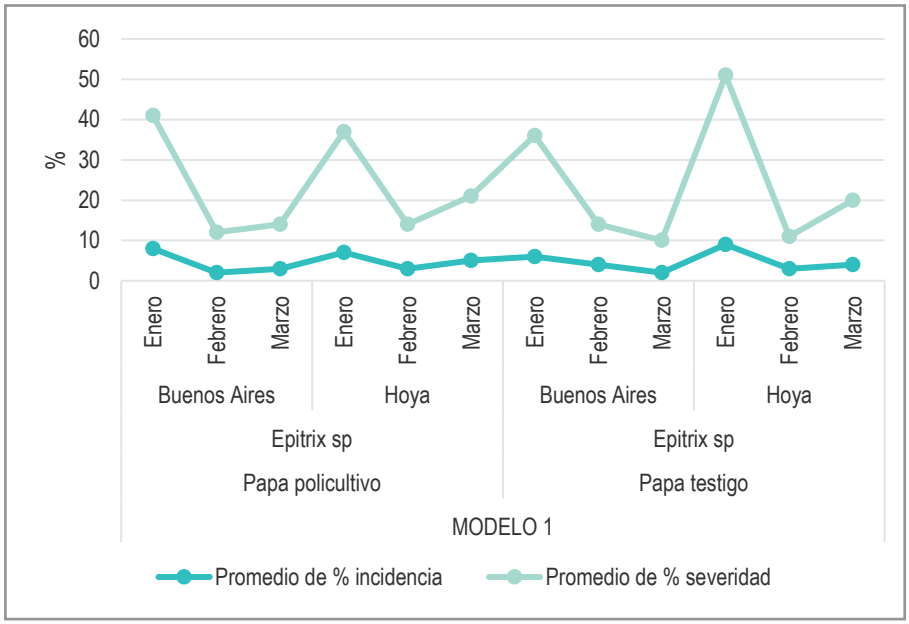
Fuente: Elaboración propia.

La incidencia y severidad de *Epitrix* sp. en papa en el modelo 1 del municipio de Belén en los meses de enero-abril, se observan en la Figura 31. El gráfico muestra que la incidencia tuvo una tendencia a presentar picos mayores en el testigo en el mes de enero en la finca El Guirre. En relación con los policultivos en el mismo mes en la finca

Buenos Aires, lo que da una medida de que hubo algún beneficio del sistema de policultivo en relación con la incidencia de esta plaga, que al encontrar una mayor agrodiversidad en los cultivos explica el comportamiento del insecto.

Figura 31

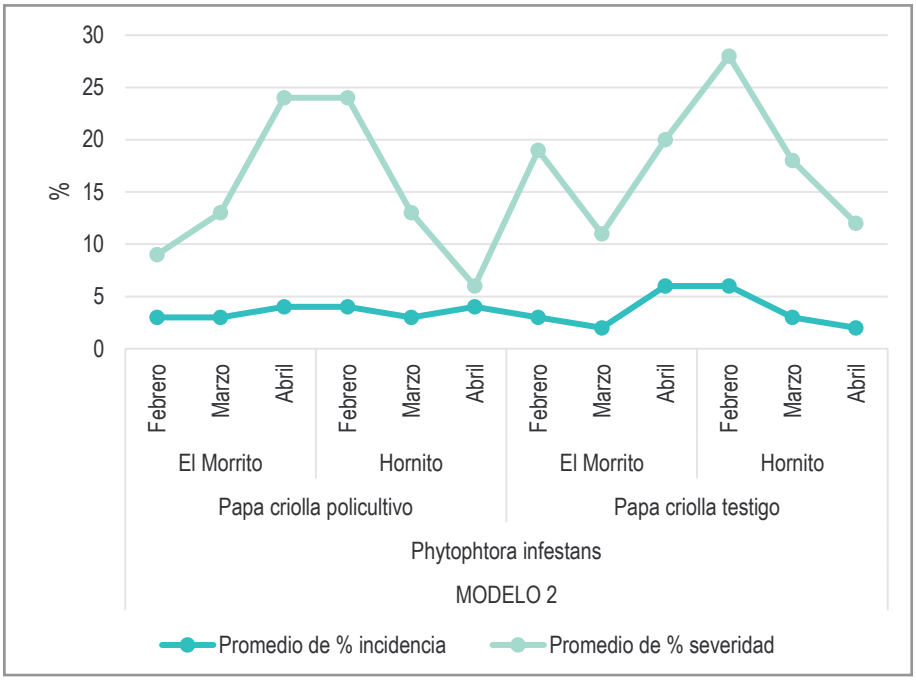
Situación de la incidencia de Epitrix sp. en papa en el monocultivo versus el policultivo del modelo 1:Papa superior-Arveja.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del comportamiento del tizón por *Phytophtora infestans* en papa en el modelo 2 Papa criolla-Arveja del municipio de Belén en los meses de febrero-abril de 2022 son oscilantes, mostrando su pico más alto en la parcela testigo durante el mes de febrero en el predio Hornito, respecto al policultivo se presentó en el mismo predio y mes con una incidencia menor (Figura 32).

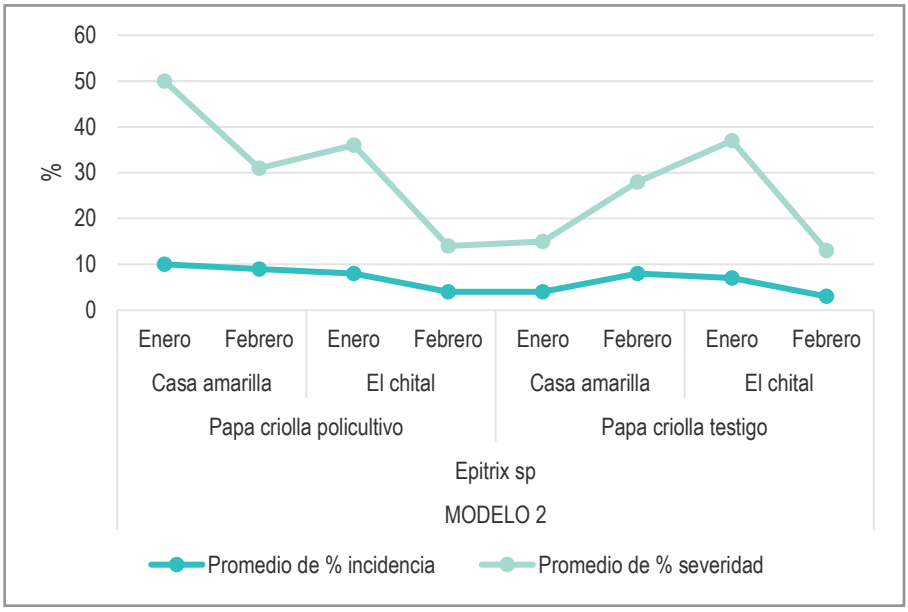
Figura 32
Situación de la incidencia de Phytophtora infestans en papa en el monocultivo versus el policultivo del modelo 2 Papa criolla-Arveja.



Fuente: Elaboración propia.

La incidencia y severidad de *Epitrix* sp en papa criolla en modelo 2 Papa-Arveja del municipio de Belén en los meses enero-marzo se observa en la Figura 33. El gráfico demuestra que la incidencia tuvo una tendencia a presentar picos mayores en el policultivo en el mes de enero en la finca Casa Amarilla, respecto al testigo la mayor incidencia se presentó en el predio el Chital, lo que da una medida de que hubo poco beneficio del sistema de policultivo en relación con la incidencia de esta plaga generando un comportamiento no positivo en la interrelación.

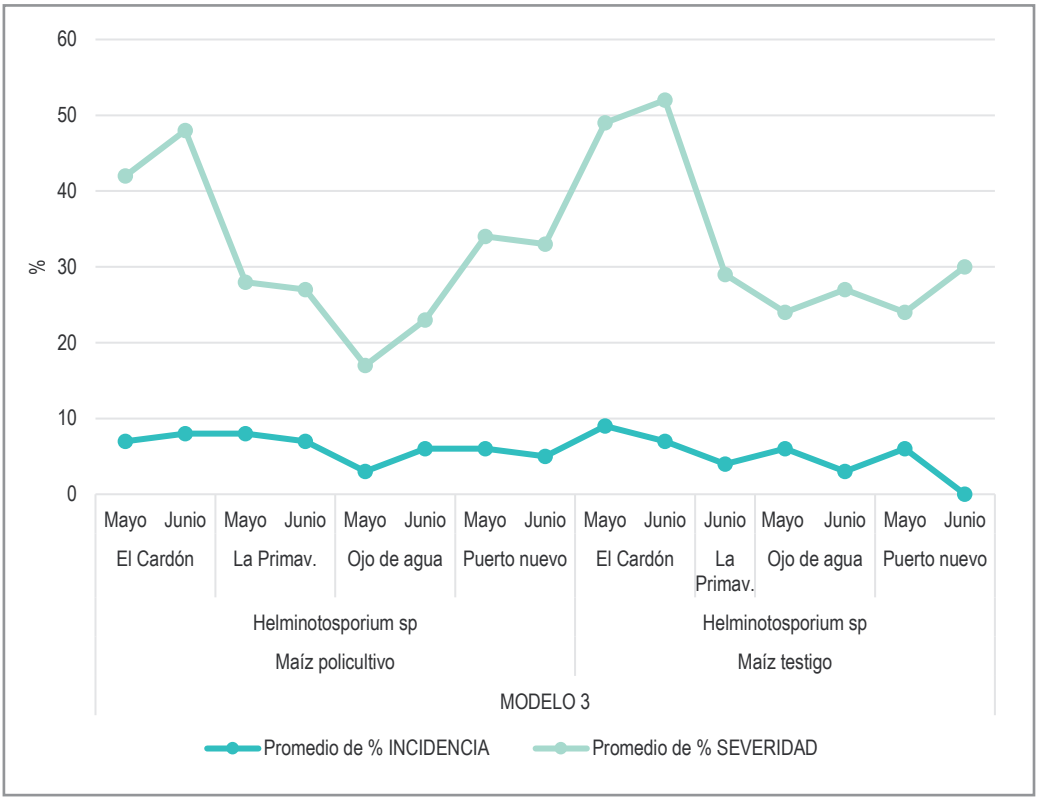
Figura 33
Situación de la incidencia de Epitrix sp. en papa en el monocultivo versus el policultivo del modelo 2 Papa criolla-Arveja.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del comportamiento de la mancha por *Helminthosporium* en maíz en el modelo 3 Maíz-Frijol del municipio de Belén, en los meses de mayo y junio de 2022 son diversos, mostrando su pico más alto en la parcela testigo durante el mes de junio en el predio El Cardón, en comparación con el policultivo que se presentó en el mismo predio y tuvo en el mes una incidencia menor (Figura 34).

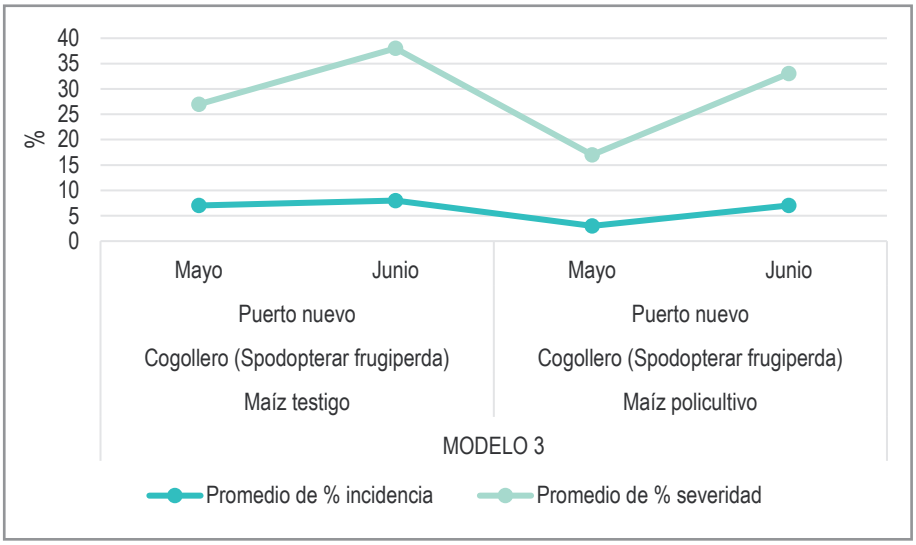
Figura 34
Situación de la incidencia de Helminthosporium en el maíz en el monocultivo versus el policultivo el modelo 3 Maíz-Frijol.



Fuente: Elaboración propia.

La incidencia y severidad de *Spodoptera frugiperda* en maíz en modelo 3 Maíz-Frijol del municipio de Belén, en los meses abril-junio se observa en la Figura 35. El gráfico muestra que la incidencia en el predio Puerto Nuevo tuvo una tendencia a presentar picos mayores en el testigo, justamente en el mes de junio en relación con el policultivo donde en el mismo mes tuvo una menor incidencia, lo que da una medida de que hubo algún beneficio del sistema de policultivo en relación con la incidencia de esta plaga.

Figura 35
Situación de la incidencia de Spodoptera frugiperda en el maíz en el monocultivo versus el policultivo del modelo 3 Maíz-Frijol.



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

Los resultados del comportamiento de *Phytophtora infestans y Epitrix* sp., en papa en el modelo 1 Papa superior-Arveja, presentaron variaciones evidenciando que hubo una medida para determinar algún beneficio del sistema de policultivo, en relación con la incidencia de esta plaga.

El comportamiento del tizón por *Phytophtora infestans* y el insecto plaga *Epitrix* sp., en papa en el modelo 2 Papa criolla-Arveja mostraron su pico más alto en la parcela asociada, lo que da una medida de que hubo poco beneficio del sistema de policultivo en relación con la incidencia de esta plaga.

La incidencia y severidad de *Spodoptera frugiperda* en maíz en modelo 3 Maíz-Frijol demostró que la incidencia tuvo una tendencia a presentar picos mayores en el testigo en el mes de junio, en relación con el policultivo el mismo mes con menor incidencia, siendo positivo el Frijol junto al maíz para la reducción de plagas.

Valoración de la producción entre la parcela testigo y parcela de policultivos por modelos

En el modelo 1 en policultivo se obtuvo una producción total de 19,560 Kg de papa y arveja, para esto se vendió a un precio de 1400 y 4200 mcte precio por kilogramo respectivamente, en cuanto a monocultivo en papa se produjo 42,150 kilogramos que fue vendido a 1400 pesos mcte por kilogramo.

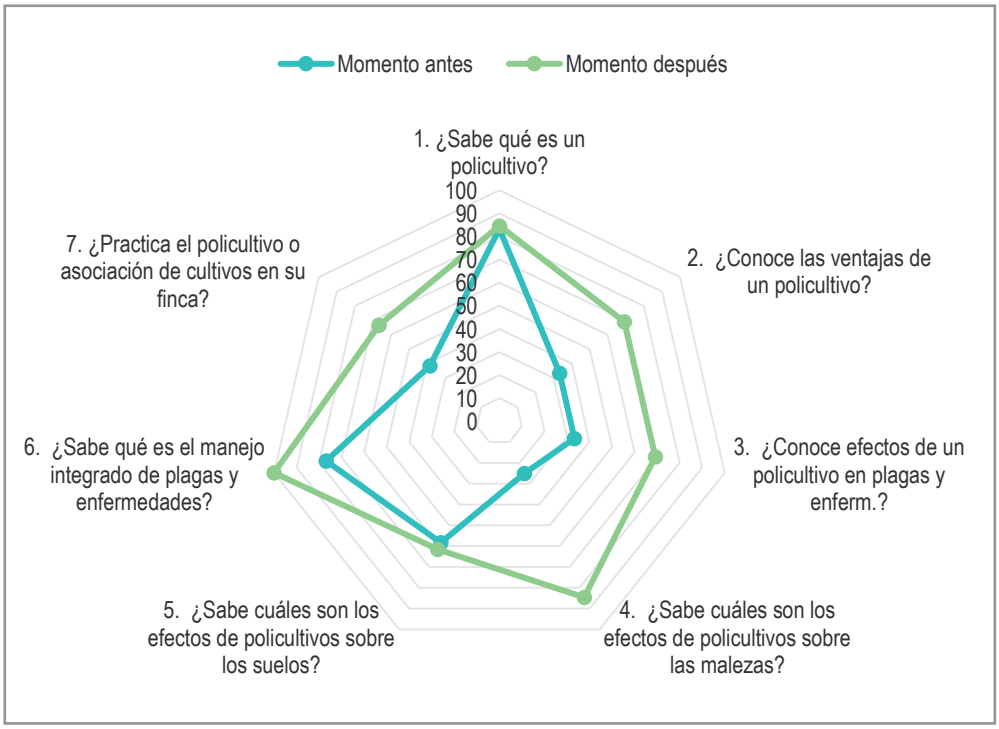
El modelo 2, en policultivo, se dio una producción total de 7,250 Kg de papa criolla y arveja, de las cuales se vendió 1700 y 3000 pesos mcte precio por kilogramo respectivamente, para el monocultivo se tuvo una producción de 16,600 Kg de papa criolla la cual se vendió a 1700 pesos mcte precio por kilogramo.

Para el modelo 3 en policultivo se obtuvo una producción total de 1380 Kg de maíz porva y Frijol, de las cuales se vendió a 4000 y 8000 pesos mcte respectivamente, precio por kilogramo, mientras que en monocultivo se obtuvo una producción total de 880 Kg de maíz porva que fue vendida 4000 pesos mcte respectivamente, precio por kilogramo.

Validación social del empleo de policultivos sobre la gestión del conocimiento y la implementación de prácticas agroecológicas

En la Figura 36, donde se presenta el porcentaje de respuesta positivas sobre conocimientos en policultivos para el momento *antes,* (línea roja) y para los puntajes obtenidos en el momento *después* (color verde). Se destaca que la frecuencia (%) de las preguntas 1 (qué es un policultivo) y 5 (qué son prácticas de conservación de suelos) fueron igualmente respondidas en los dos momentos, mientras que la frecuencia a las demás preguntas (2, 3, 4, 6 y 7) reflejaron un nivel de conocimiento superior por parte de los agricultores *después*, indicando que las actividades del proyecto lograron un cambio.

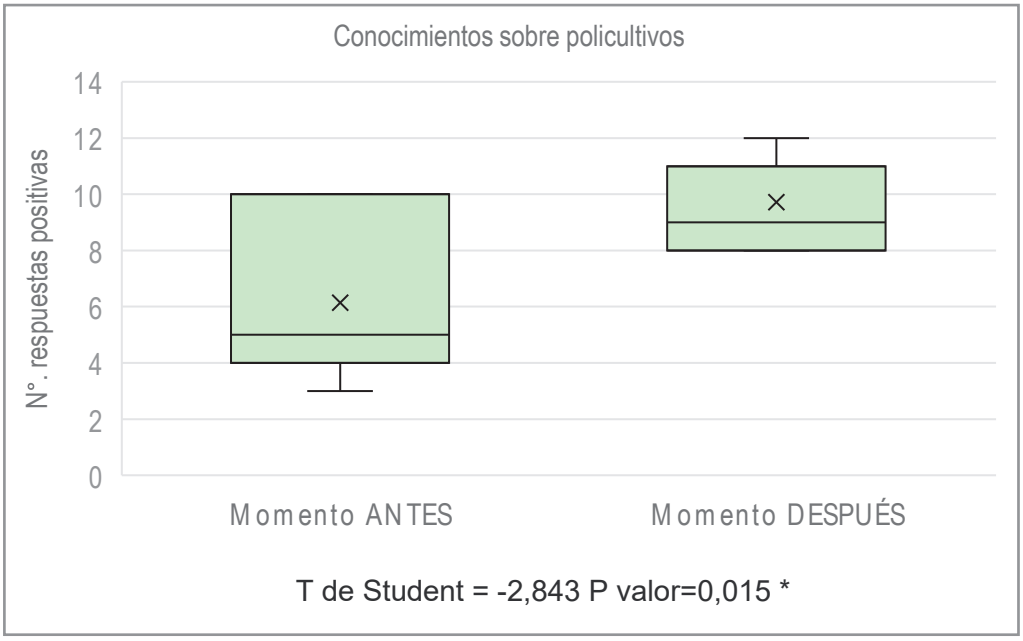
Figura 36
Porcentaje (%) respuestas positivas sobre conocimientos agroecológico, Belén, 2022



Fuente: Elaboración propia.

medida estadística de posición central) que las puntuaciones del momento 2022 fueron superiores al del año 2021 con diferencia estadística significativa $p<0,05$, lo que demuestra un aumento significativo y diferencial del conocimiento sobre agroecología por parte de los agricultores como efecto del proyecto (Figura 37).

Figura 37
Puntajes promedio conocimientos sobre policultivos, Belén, 2022.



**Hay diferencias significativas en las respuestas positivas por la prueba t de Student (p-valor<5%).*
Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

Se observó un incremento significativo del conocimiento de los agricultores sobre agroecología como impacto social del proyecto y, en particular, en las preguntas que indagaron sobre el efecto de los policultivos sobre las plagas y enfermedades, sobre las malezas y con relación al concepto de manejo integrado de plagas y enfermedades. A través de la validación socioeconómica se determinó que el mejor modelo en el municipio de Belén fue el número 1: Papa Superior-Arveja, ya que presentó el mejor desarrollo en policultivo y a niveles económicos fue muy rentable, evidenciándose la reducción de plagas y enfermedades.

Recomendaciones en Belén

- *Brindar más tiempo a proyectos de este tipo, para así adecuar las fechas de siembra y toma de datos, con el fin de tener más precisión en el seguimiento que se le hace a cada modelo agroecológico.*

- *Tener en cuenta en mayor medida la variabilidad climática de cada municipio ya que juega un papel importante en el desarrollo de un cultivo. Al no tenerla en cuenta en los cronogramas de siembra, se presentan perdidas de material vegetal y elevan índices de plagas y enfermedades.*

- *Socializar los resultados con los agricultores, asociaciones y decisores, como del mismo modo, continuar la validación y el seguimiento a los modelos de policultivos de mayor éxito en el municipio, para así seguir generando impacto en los agricultores de la región.*

- *Se sugiere extender la asistencia técnica más allá de la etapa de desarrollo del cultivo abarcando también las etapas de producción y comercialización, esto permitirá fortalecer todos los eslabones de la cadena productiva y dinamizar la economía a nivel local y regional.*

- *Promover la implementación de herramientas y estrategias orientadas a los actores rurales para la protección de nacederos, fuentes de agua, la constitución de sistemas de almacenamiento y el uso adecuado de mejores técnicas de sistemas de riego para cada tipo de modelo.*

CAPÍTULO VI
RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DE LOS MODELOS ASOCIATIVOS EN EL MUNICIPIO PANQUEBA

Ajuste de forma participativa de los modelos agrícolas asociativos propuestos inicialmente con los agricultores

No se presentaron cambios en los modelos agroecológicos durante el proceso de ajuste participativo en el municipio de Panqueba (Tabla 29).

Tabla 29
Resultado del ajuste participativo de los modelos policultivos y monocultivos para los diferentes ciclos en el municipio de Panqueba

Modelo 1	**Cultivos iniciales**			**Cultivos finales**	
		Especie	**Variedad**	**Principal**	**Especie**
	Principal	Cebolla	Taki Osaka	Cebolla	Taki Osaka
	Asociado	Cebolla	Taki Osaka	Cebolla	Taki Osaka
		Frijol	ICA Cerinza	Frijol	ICA Cerinza
	Testigo	Cebolla	Taki Osaka	Cebolla	Taki Osaka
Modelo 2	**Cultivos iniciales**			**Cultivos finales**	
		Especie	**Variedad**	**Principal**	**Especie**
	Principal	Durazno	Gran Jarillo	Durazno	Gran Jarillo
	Asociado	Durazno	Gran Jarillo	Durazno	Gran Jarillo
		Frijol Maíz	ICA Cerinza Porva	Frijol Maíz	ICA Cerinza Porva
	Testigo	Durazno	Gran Jarillo	Durazno	Gran Jarillo
Modelo 3	**Cultivos iniciales**			**Cultivos finales**	
		Especie	**Variedad**	**Principal**	**Especie**
	Principal	Maíz	Porva	Maíz	Porva
	Asociado	Maíz	Porva	Maíz	Porva
		Frijol Arveja	ICA Cerinza Santa Isabel	Frijol Arveja	ICA Cerinza Santa Isabel
	Testigo	Maíz	Porva	Maíz	Porva

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

No se presentaron cambios durante el ajuste participativo de los modelos agrícolas asociativos propuestos en el municipio de Panqueba. Los tres modelos fueron validados y aprobados por los productores del municipio.

Influencia de la implementación de los modelos agrícolas asociativos sobre la calidad del agua

La comparación de las variables físico- químicas del agua después de establecidos los policultivos en las fincas, con relación a la situación inicial en el modelo 1 de Panqueba (Tabla 30), mostró que las variables no tuvieron cambios con diferencias significativas (p-valor>5%). Se mantuvieron estables en su concentración los elementos de carbonato (meq/L) y el zinc (ppm). Se registran unas ligeras disminuciones en la medición del segundo muestreo en los elementos: Sodio (meq/L), N-NO_3 (meq/L), cobre(ppm), C.E (mS/cm) y R.A.S. Lo anterior muestra un balance positivo ya que indica que la calidad manifestada del agua prevista para el riego no tuvo afectaciones por el establecimiento de las parcelas de testigo y cultivo asociado en este modelo.

Tabla 30
Comparación de las variables fisico-químicas del agua, antes y después, en el modelo de policultivo 1- Panqueba

Variables físico-químicas del agua	Media antes	Media después	Valor de t	*p-valor o Sig. Bilateral*
Sodio (meq / L)	0,3200	0,3075	0,146	0,889
Potasio (meq / L)	0,0375	0,0400	-0,182	0,862
Calcio (meq / L)	1,3100	1,6500	-0,399	0,704
Magnesio (meq / L)	0,7300	0,7450	-0,066	0,949
Amonio (meq / L)	0,0525	0,2650	-0,866	0,450
Scationes	2,4450	3,0075	-0,601	0,570
Cloruros(meq/L)	0,0650	0,1400	-1,544	0,180
Azufre (meq/L)	1,3775	1,3575	0,029	0,978
Carbonatos [a] (meq/L)	0,0500	0,0500	0,000	1,000
Bicarbonatos (meq/L)	1,7750	1,8500	-0,117	0,913
N-NO3 (meq/L)	0,0550	0,0200	1,296	0,262
Fosfatos (meq/L)	0,0010	0,0015	-1,732	0,182
Saniones	3,2725	3,3700	-0,077	0,941

Hierro (ppm)	0,2925	0,3625	-0,269	0,801
Manganeso (ppm)	0,0100	0,0250	-1,000	0,391
Cobre (ppm)	0,0150	0,0100	1,732	0,182
Zinc [a] (ppm)	0,0100	0,0100	0,000	1,000
Boro (ppm)	0,0675	0,0725	-0,197	0,853
Dureza total mg/L)(CaCO3)	102,2500	119,7500	-0,346	0,741
pH	7,3050	7,5650	-1,029	0,347
C.E (mS/cm)	0,3200	0,3000	0,165	0,874
R.A.S	0,3500	0,2875	1,213	0,291
[a]: No fue posible calcular la correlación ni la estadística t porque el error típico de la diferencia es 0 (*): P-valor < 0,05 indica diferencias significativas en las dos muestras analizadas				
K: potasio; Na: sodio; Ca: calcio; Al: aluminio; Mg: S cationes: Suma de cationes; magnesio; CIC: capacidad de intercambio catiónico; P: fósforo; Cl: cloro; N-NH_4^+: nitrógeno disponible en forma amonio; N-NO_3^-: nitrógeno disponible en forma de nitrato; S aniones: Suma de aniones; Fe: hierro; S: azufre; Mn: manganeso; Zn: zinc; Cu: cobre; B: boro; pH: potencial de hidrógeno; RAS: Relación de absorción de sodio; CE: conductividad eléctrica.				

Fuente: Elaboración propia.

Se pudo observar que no se registraron diferencias significativas entre el primer y segundo muestreo en el modelo 2 (Tabla 31). Los elementos, carbonatos (meq/L) cobre (ppm) y zinc (ppm) permanecieron con concentraciones similares. Elementos como: potasio (meq/L), calcio (meq/L), azufre (meq/L), manganeso (ppm), Boro (ppm) su concentración en el segundo muestreo, de igual forma el valor pH, pero no fue nada significativo. Al no presentar variaciones significativas a nivel estadístico y mantenerse todas las variables dentro de los rangos permitidos se puede afirmar que la calidad del agua dedicada al riego se mantuvo óptima, lo cual garantiza un buen aporte para el desarrollo de los cultivos establecidos.

Tabla 31

Comparación de las variables fisicoquímicas del agua, antes y después, en el modelo de policultivo 2- Panqueba

Variables físico-químicas del agua	Media antes	Media después	Valor de t	*p-valor o Sig. Bilateral*
Sodio (meq / L)	0,3400	0,2325	1,227	0,266
Potasio (meq / L)	0,0300	0,0350	-0,775	0,469
Calcio (meq / L)	1,1350	1,3850	-0,464	0,660
Magnesio (meq / L)	0,6650	0,5475	0,479	0,653
Amonio (meq / L)	0,0350	0,0225	1,263	0,286
Scationes	2,1975	2,2200	-0,028	0,979
Cloruros(meq/L)	0,1750	0,1275	0,643	0,546

Azufre (meq/L)	0,6175	1,0775	-0,948	0,385
Carbonatos [a] (meq/L)	0,0500	0,0500	0,000	1,000
Bicarbonatos (meq/L)	1,9125	1,6000	0,703	0,508
N-NO3 (meq/L)	0,0978	0,0358	2,246	0,066
Fosfatos (meq/L)	0,0030	0,0028	0,122	0,910
Saniones	2,8025	2,8450	-0,047	0,964
Hierro (ppm)	0,3575	0,1275	1,523	0,191
Manganeso (ppm)	0,0100	0,0575	-1,000	0,391
Cobre [a] (ppm)	0,0100	0,0100	0,000	1,000
Zinc [a] (ppm)	0,0100	0,0100	0,000	1,000
Boro (ppm)	0,0725	0,0975	-0,813	0,453
Dureza total mg/L)(CaCO3)	90,2500	96,7500	-0,174	0,868
pH	7,5750	7,6525	-0,344	0,745
C,E, (mS/cm)	0,2800	0,2425	0,388	0,713
RAS	0,3750	0,2450	2,091	0,096
[a]: No fue posible calcular la correlación ni la estadística t porque el error típico de la diferencia es 0 (*): P-valor < 0,05 indica diferencias significativas en las dos muestras analizadas				
K: potasio; Na: sodio; Ca: calcio; Al: aluminio; Mg: S cationes: Suma de cationes; magnesio; CIC: capacidad de intercambio catiónico; P: fósforo; Cl: cloro; N-NH_4^+: nitrógeno disponible en forma amonio; N-NO_3^-: nitrógeno disponible en forma de nitrato; S aniones: Suma de aniones; Fe: hierro; S: azufre; Mn: manganeso; Zn: zinc; Cu: cobre; B: boro; pH: potencial de hidrógeno; RAS: Relación de absorción de sodio; CE: conductividad eléctrica.				

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 32 se puede ver que el único elemento que presentó una disminución significativa en el segundo muestreo fue el amonio (meq/L) (p-valor <5%). Los valores en la concentración disminuyeron en algunos elementos excepto para el cloruro (meq/L), fosfatos (meq/L) y pH, pero nada significativo. La disminución de amonio es positiva ya que así se evita que las plantas lo acumulen, generando daños celulares, clorosis y retraso en el desarrollo radicular. De manera general, la calidad del agua para riego se mantuvo con buena calidad y sin grandes cambios, lo cual indica que el establecimiento de los cultivos no ocasionó alteraciones en esta.

Tabla 32

Comparación de las variables fisicoquímicas del agua, antes y después, en el modelo de policultivo 3- Panqueba

Variables físico-químicas del agua	Media Antes	Media después	Valor de t	*p-valor o Sig. Bilateral*
Sodio (meq / L)	0,3975	0,2500	1,566	0,180
Potasio (meq / L)	0,0450	0,0250	1,477	0,204

Calcio (meq / L)	2,1550	1,5900	0,918	0,412
Magnesio (meq / L)	0,9150	0,6850	1,204	0,307
Amonio (meq / L)	0,0775	0,0250	3,228	0,037 (*)
Scationes	3,5900	2,5700	1,225	0,302
Cloruros(meq/L)	0,0925	0,1175	-0,984	0,363
Azufre (meq/L)	1,5350	1,0625	1,003	0,360
Carbonatos [a] (meq/L)	0,0500	0,0500	0,000	1,000
Bicarbonatos (meq/L)	2,5625	1,9000	1,090	0,348
N-NO3 (meq/L)	0,0438	0,0213	1,515	0,183
Fosfatos (meq/L)	0,0010	0,0015	-0,775	0,469
Saniones	4,2325	3,1000	1,134	0,333
Hierro (ppm)	0,5050	0,4275	0,165	0,874
Manganeso [a] (ppm)	0,0100	0,0100	0,000	1,000
Cobre [a] (ppm)	0,0100	0,0100	0,000	1,000
Zinc (ppm)	0,0100	0,0100	0,000	1,000
Boro (ppm)	0,1125	0,0650	0,973	0,395
Dureza (mg/L)(CaCO3)	153,5000	113,7500	1,060	0,359
pH	7,8000	7,8225	-0,162	0,879
C.E (mS/cm)	0,4475	0,2650	2,149	0,112
R.A.S	0,3200	0,2200	1,555	0,171
[a]: No fue posible calcular la correlación ni la estadística t porque el error típico de la diferencia es 0 (*): P-valor < 0,05 indica diferencias significativas en las dos muestras analizadas				
K: potasio; Na: sodio; Ca: calcio; Al: aluminio; Mg: S cationes: Suma de cationes; magnesio; CIC: capacidad de intercambio catiónico; P: fósforo; Cl: cloro; N-NH_4^+: nitrógeno disponible en forma amonio; N-NO_3^-: nitrógeno disponible en forma de nitrato; S aniones: Suma de aniones; Fe: hierro; S: azufre; Mn: manganeso; Zn: zinc; Cu: cobre; B: boro; pH: potencial de hidrógeno; RAS: Relación de absorción de sodio; CE: conductividad eléctrica.				

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

Los cultivos implementados en modelos de policultivos en el municipio de Panqueba, no presentaron influencia con diferencia significativa en las propiedades físico-químicas del agua de riego en el caso del modelo 1 (Cebolla-Frijol y Cebolla Testigo), y del modelo 2 (Durazno-Frijol-maíz y Durazno Testigo). Sin embargo, en el modelo 3 (Maíz-Frijol-arveja y Maíz Testigo), se presentó una disminución de amonio lo cual fue puede considerarse positivo porque esta forma de nitrógeno puede ser toxica para algunos cultivos.

Influencia de la implementación de los modelos agrícolas asociativos sobre las variables físico químicas del suelo

La comparación de las variables físico-químicas del suelo después de establecidos los policultivos en los predios, con relación a la situación final del monocultivo en el modelo 1 de Panqueba (Tabla 33), manifestó un aumento significativo en la variable boro (p-valor >5%). La saturación de bases permaneció constante. El aumento de boro es bastante positivo, ya que este elemento contribuye con procesos celulares y fisiológicos de las plantas, así como como el cuajado de frutos.

Tabla 33

Análisis de la comparación entre la parcela policultivo y la testigo (monocultivo) para las variables fisico-químicas más importantes del suelo, para el modelo 1- Panqueba, 2022

Variables físico-químicas del suelo	Media policultivo	Media testigo	Valor de t	*p-valor o Sig. Bilateral*
Potasio (meq /100 cc)	0,4375	0,5925	-0,834	0,436
Calcio (meq / 100 cc)	10,1125	12,7375	-1,686	0,143
Magnesio (meq / 100 cc)	3,8075	3,3225	0,787	0,461
Sodio (meq /L)	0,4400	0,5475	-0,934	0,386
Aluminio [a] (meq /100 cc)	0,0025	0,0025	0,000	1,000
C.I.C (meq / 100 g)	21,4375	21,8575	-0,085	0,935
Cloruros (meq/100 cc)	1,3400	1,6350	-0,623	0,556
Fósforo (ppm)	40,000	87,000	-1,677	0,145
N-NH4 (ppm)	14,000	12,000	1,549	0,172
N-NO3 (ppm)	22,500	70,000	-1,523	0,179
Azufre (ppm)	15,500	14,000	0,160	0,878
Hierro (ppm)	174,750	203,500	-0,588	0,578
Manganeso (ppm)	50,7500	49,7500	0,057	0,956
Cobre (ppm)	0,5250	0,6750	-0,991	0,360
Zinc (ppm)	3,5250	4,6250	-0,769	0,471
Boro (ppm)	0,1000	0,2625	-2,706	0,035 (*)
pH	6,0150	5,9300	,255	0,807
C.E (mS/cm)	0,3200	0,5475	-1,628	0,155
Materia orgánica (%)	2,9625	3,3325	-0,402	0,702
Carbono orgánico (%)	1,7175	1,9375	-0,412	0,695
Saturación bases [a] (%)	100,00	100,00	0,000	1,000
Densidad aparente (g/cc)	1,2850	1,3000	-0,181	0,862

[a]: No fue posible calcular la correlación ni la estadística t porque el error típico de la diferencia es 0
(*): P-valor < 0,05 indica diferencias significativas en las dos muestras analizadas

CIC: capacidad de intercambio catiónico; N-NH_4^+: nitrógeno disponible en forma de amonio; N-NO_3^-: nitrógeno disponible en forma de nitrato; pH: potencial de hidrógeno; C.E: conductividad eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados presentados en la Tabla 34 (el modelo 2), evidencia que no hubo diferencias significativas (p-valor >5%) en las variables físico-químicas del suelo, medidas en las parcelas de policultivos y testigo (monocultivo).

Tabla 34

Análisis de la comparación entre la parcela policultivo y la testigo (monocultivo) para las variables fisicoquímicas más importantes del suelo, para el modelo 2- Panqueba, 2022

Variables físico-químicas del suelo	Media policultivo	Media testigo	Valor de t	p-valor o Sig. Bilateral
Potasio (meq /100 cc)	0,9525	1,2050	-1,328	0,232
Calcio (meq / 100 cc)	5,6575	4,2750	0,820	0,444
Magnesio (meq / 100 cc)	1,0300	1,1150	-0,215	0,837
Sodio (meq /L)	0,7700	0,6875	0,377	0,719
Aluminio (meq /100 cc)	0,8875	0,9050	-0,028	0,979
C.I.C (meq / 100 g)	23,4225	25,8475	-0,829	0,439
Cloruros (meq/100 cc)	2,5300	2,0900	0,484	0,645
Fósforo (ppm)	64,0000	86,7500	-0,882	0,411
N-NH4 (ppm)	3,0000	7,0000	-1,050	0,334
N-NO3 (ppm)	82,5000	105,0000	-0,484	0,646
Azufre (ppm)	11,2500	27,0000	-1,529	0,177
Hierro (ppm)	337,0000	262,7500	0,898	0,404
Manganeso (ppm)	15,2500	16,0000	-,083	0,937
Cobre (ppm)	0,7750	0,6500	0,768	0,471
Zinc (ppm)	3,0000	4,2250	-0,905	0,400
Boro (ppm)	0,5025	0,7500	-1,687	0,143
pH	4,9325	4,7850	0,347	0,740
C.E (mS/cm)	0,7200	0,8125	-0,325	0,756
Materia orgánica (%)	4,8225	5,7225	-0,479	0,661
Carbono orgánico (%)	2,8000	3,3200	-0,477	0,662
Saturación bases (%)	87,7500	88,0000	-0,029	0,978
Densidad aparente (g/cc)	1,0800	1,1325	-1,481	0,189

[a]: No fue posible calcular la correlación ni la estadística t porque el error típico de la diferencia es 0
(*): P-valor < 0,05 indica diferencias significativas en las dos muestras analizadas

CIC: capacidad de intercambio catiónico; N-NH_4^+: nitrógeno disponible en forma de amonio; N-NO_3^-: nitrógeno disponible en forma de nitrato; pH: potencial de hidrógeno; C.E: conductividad eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 35 que muestra los resultados para el modelo 3, refleja que tampoco hubo diferencia estadística significativa (p-valor >5%) en las variables físico-químicas del suelo medidas en las parcelas (policultivos) y con respecto al testigo (monocultivo).

Tabla 35

Análisis de la comparación entre la parcela policultivo y la testigo (monocultivo) para las variables fisico-químicas más importantes del suelo, para el modelo 3- Panqueba, 2022

Variables físico-químicas del suelo	Media policultivo	Media testigo	Valor de t	*p-valor o Sig. Bilateral*
Potasio (meq /100 cc)	0,7400	0,6200	0,743	0,486
Calcio (meq / 100 cc)	15,9425	15,6700	0,049	0,963
Magnesio (meq / 100 cc)	3,2975	3,2425	0,105	0,920
Sodio (meq /L)	0,3350	0,3775	-0,356	0,734
Aluminio (meq /100 cc)	0,3800	0,0200	0,955	0,410
C.I.C (meq / 100 g)	13,7675	15,0075	-0,246	0,814
Cloruros (meq/100 cc)	0,9900	1,0500	-0,192	0,854
Fósforo (ppm)	133,2500	111,7500	0,437	0,678
N-NH4 (ppm)	15,7500	10,7500	1,456	0,196
N-NO3 (ppm)	50,0000	42,5000	0,186	0,858
Azufre (ppm)	7,7500	8,2500	-0,066	0,950
Hierro (ppm)	281,0000	317,0000	-0,550	0,602
Manganeso (ppm)	47,5000	46,0000	0,098	0,925
Cobre (ppm)	0,5500	0,6000	-0,522	0,620
Zinc (ppm)	6,4000	6,7250	-0,142	0,891
Boro (ppm)	0,1300	0,1550	-0,787	0,461
pH	5,8975	5,8025	0,148	0,887
C.E (mS/cm)	0,4600	0,2625	0,901	0,402
Materia orgánica (%)	2,2675	3,0825	-0,928	0,389
Carbono orgánico (%)	1,3175	1,7900	-0,928	0,389
Saturación bases (%)	97,5000	100,0000	-1,000	0,391
Densidad aparente (g/cc)	1,4125	1,3600	0,690	0,516

[a]: No fue posible calcular la correlación ni la estadística t porque el error típico de la diferencia es 0
(*): P-valor < 0,05 indica diferencias significativas en las dos muestras analizadas

CIC: capacidad de intercambio catiónico; N-NH_4^+: nitrógeno disponible en forma de amonio; N-NO_3^-: nitrógeno disponible en forma de nitrato; pH: potencial de hidrógeno; C.E: conductividad eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

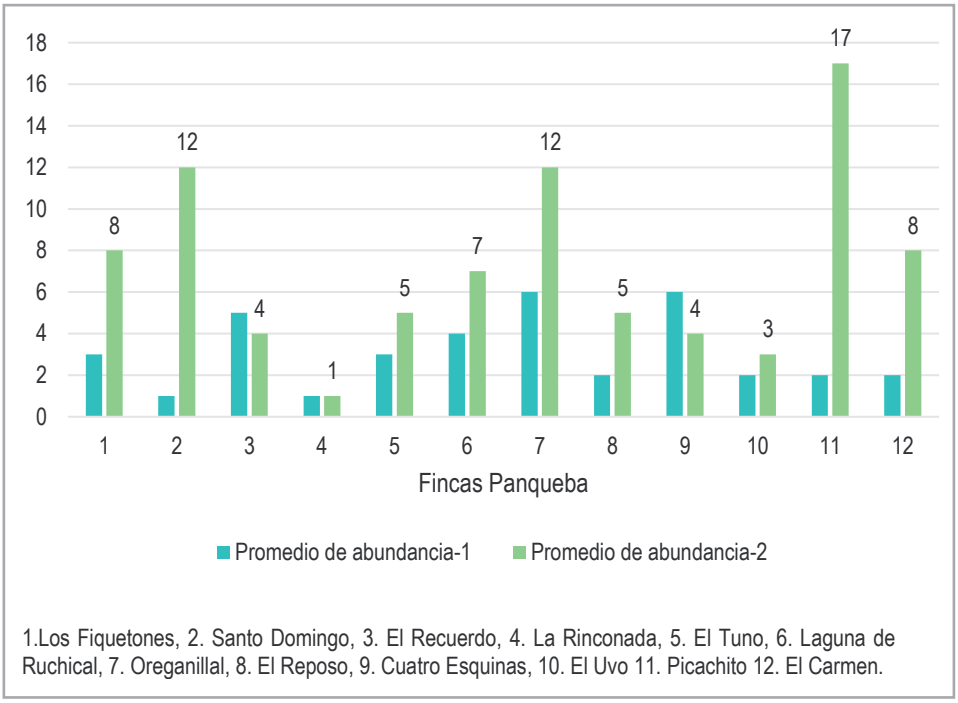
Los cultivos implementados en forma de policultivos en el municipio de Panqueba, influenciaron poco las propiedades físico-químicas del suelo, ya que no hubo cambios, exceptuando el aumento del boro en el modelo 1 (Cebolla-Frijol y Cebolla Testigo), para los modelos 2 (Durazno- Frijol- Maíz y Durazno Testigo), y modelo 3 (Maíz-Frijol-Arveja y Maíz Testigo), no reflejaron ningún cambio significativo en las variables medidas en los dos muestreos.

Influencia de la implementación de los modelos agrícolas asociativos sobre las variables biológicas del suelo

Macrofauna

No se observó uniformidad en el comportamiento de la abundancia de la macrofauna en las fincas, después de implementados los policultivos, con respecto al inicio del proyecto. Al inicio las poblaciones variaron entre 1 y 6 individuos (fincas Oreganillal y Cuatro Esquinas respectivamente) y después entre 1 y 17 (finca El Picachito, respectivamente). Las poblaciones disminuyeron en 2 fincas, aumentaron en 9 y se mantuvieron en una (Figura 38) lo que en general puede valorarse como positivo.

Figura 38
Abundancia de la macrofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba.



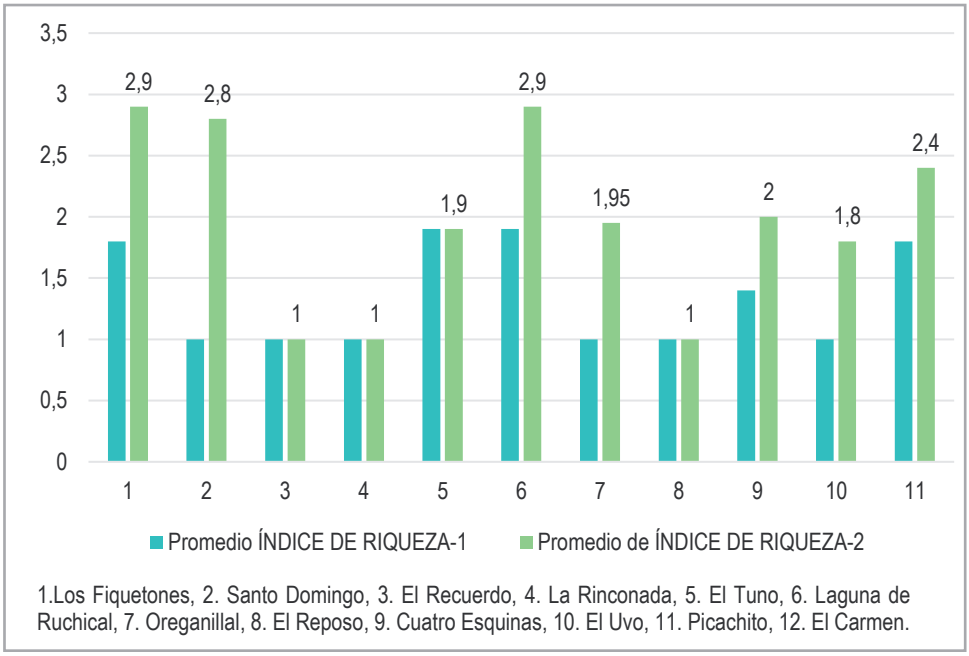
1.Los Fiquetones, 2. Santo Domingo, 3. El Recuerdo, 4. La Rinconada, 5. El Tuno, 6. Laguna de Ruchical, 7. Oreganillal, 8. El Reposo, 9. Cuatro Esquinas, 10. El Uvo 11. Picachito 12. El Carmen.

Fuente: Elaboración propia.

De forma similar a lo observado con la abundancia, la riqueza específica de la macrofauna del suelo aumentó en ocho fincas y no tuvo variación en cuatro con la implementación de los policultivos, por lo que en la mayoría de las fincas no hubo perturbación del número de especies de la macrofauna o estas aumentaron (Figura 39). En varias fincas la riqueza fue mayor de 2, lo que se considera una biodiversidad media y una propiedad favorable para el suelo.

Figura 39

Riqueza específica de la macrofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba.



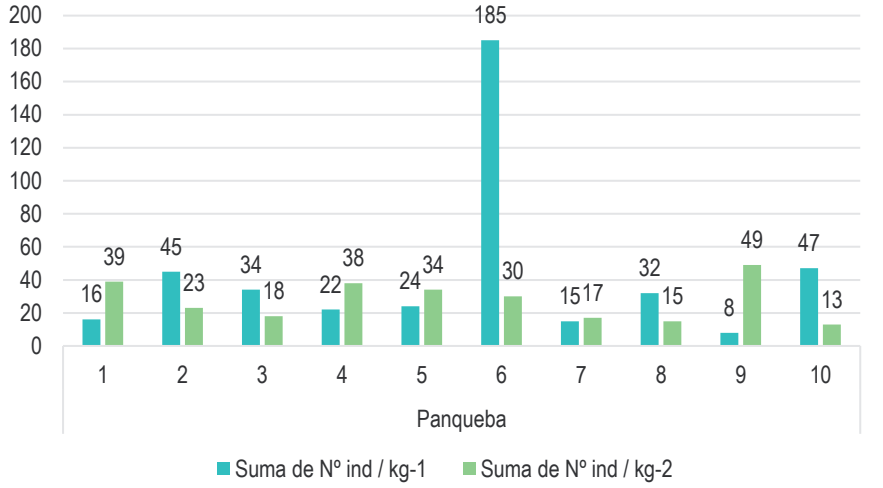
1.Los Fiquetones, 2. Santo Domingo, 3. El Recuerdo, 4. La Rinconada, 5. El Tuno, 6. Laguna de Ruchical, 7. Oreganillal, 8. El Reposo, 9. Cuatro Esquinas, 10. El Uvo, 11. Picachito, 12. El Carmen.

Fuente: Elaboración propia.

Mesofauna

No se observó uniformidad en el comportamiento de la abundancia de la mesofauna de los suelos de las fincas, después de implementados los policultivos con respecto al inicio. En cinco fincas aumentaron los individuos y en otras cinco disminuyeron. Al inicio las poblaciones variaron entre 8 y 180 individuos/kg (finca Cuatro Esquinas y la finca La Laguna de Ruchical, respectivamente) y después entre 13 y 49 (finca el UVO y finca Cuatro Esquinas respectivamente) (Figura 40).

Figura 40
Abundancia de la mesofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba.



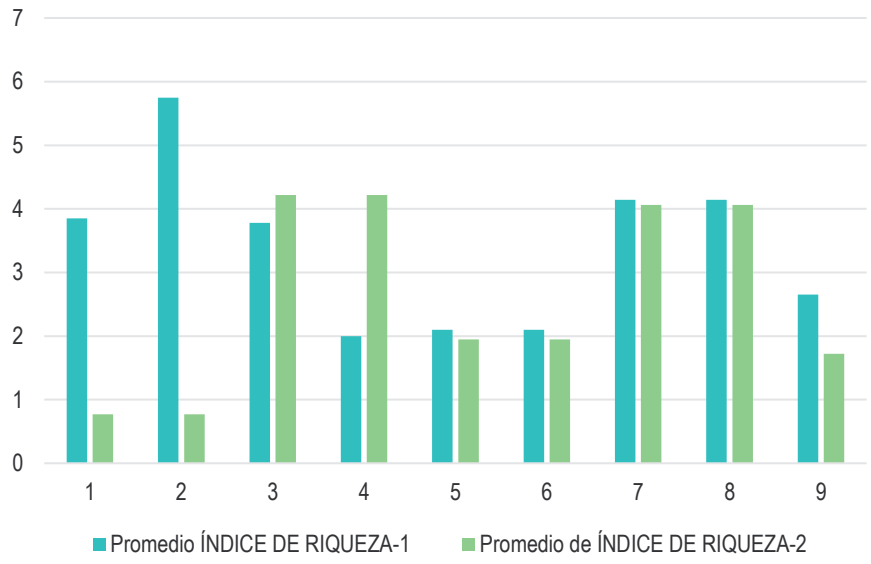
1.Los Fiquetones, 2. Santo Domingo, 3. El Recuerdo, 4. La Rinconada, 5. El Tuno, 6. Laguna de Ruchical, 7. Oreganillal, 8. El Reposo, 9. Cuatro Esquinas. 10. El Uvo.

Fuente: Elaboración propia.

La riqueza específica de la mesofauna del suelo aumentó en dos fincas y disminuyó en ocho con la implementación de los policultivos, por lo que en la mayoría de las fincas hubo perturbación del número de especies de la mesofauna (Figura 41), en varios casos la riqueza fue mayor de 3, lo que se considera una biodiversidad alta.

Figura 41

Riqueza específica de la mesofauna del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba.



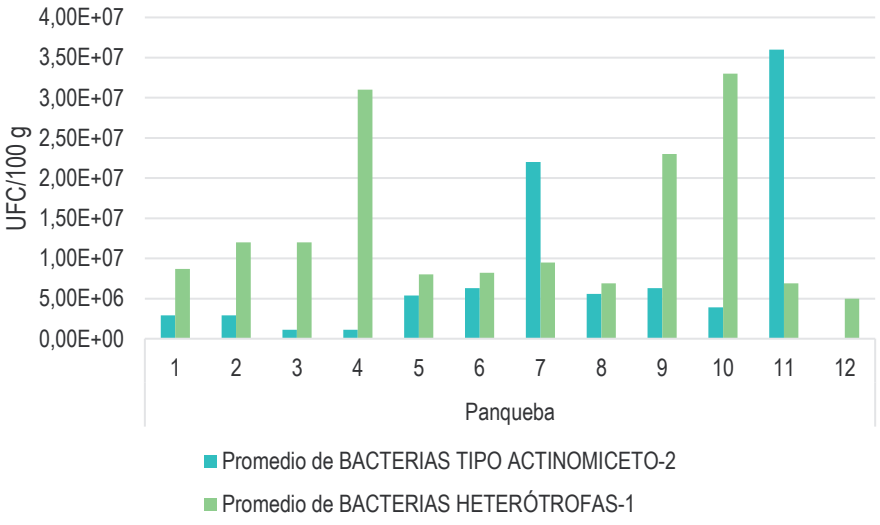
1.Los Fiquetones, 2. Santo Domingo, 3. El Recuerdo, 4. La Rinconada, 5. El Tuno, 6. Laguna de Ruchical, 7. Oreganillal, 8. El Reposo, 9. Cuatro Esquinas, 10. El Uvo, 11. Picachito, 12. El Carmen.

Fuente: Elaboración propia.

Microbiología

Las poblaciones de actinomicetos aumentaron en nueve de las fincas después de implementados los policultivos. Las poblaciones más altas al inicio fueron en la finca Picachito entre 3 y $4x10^7$ UCF y las más altas después en la finca El Uvo con $3x10^7$ UCF (Figura 42).

Figura 42
Poblaciones de actinomicetos del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba.

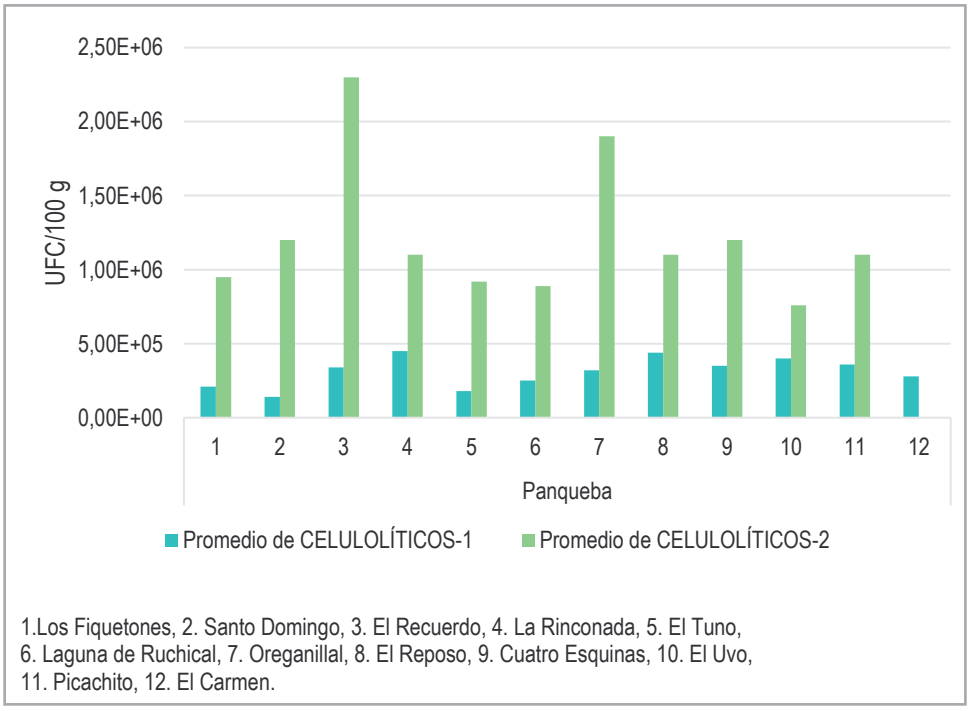


1.Los Fiquetones, 2. Santo Domingo, 3. El Recuerdo, 4. La Rinconada, 5. El Tuno, 6. Laguna de Ruchical, 7. Oreganillal, 8. El Reposo, 9. Cuatro Esquinas, 10. El Uvo, 11. Picachito, 12. El Carmen.

Fuente: Elaboración propia.

Las poblaciones de microorganismos celulíticos aumentaron en 11 de las 12 fincas después de implementados los policultivos, con respecto al inicio. No fueron detectables a nivel de 10^5 UCF después en la finca El Carmen. Las poblaciones más altas inicialmente estuvieron en la finca La Rinconada con $0{,}4x10^6$ UCF/100g de suelo y las más altas después en la finca Recuerdo con más de $2.2x10^6$ UCF (Figura 43). Estos suelos presentaron un nivel favorable de microorganismos celulíticos durante toda la etapa.

Figura 43
Poblaciones de los microorganismos celulíticos del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba.



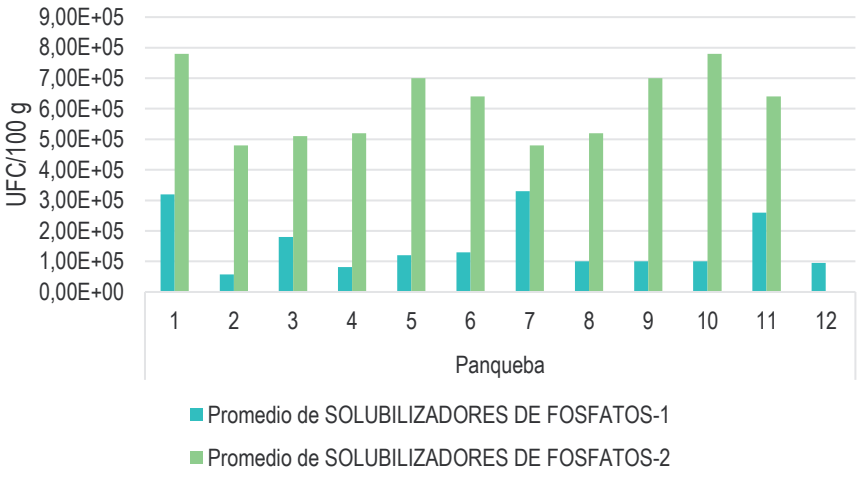
1.Los Fiquetones, 2. Santo Domingo, 3. El Recuerdo, 4. La Rinconada, 5. El Tuno, 6. Laguna de Ruchical, 7. Oreganillal, 8. El Reposo, 9. Cuatro Esquinas, 10. El Uvo, 11. Picachito, 12. El Carmen.

Fuente: Elaboración propia.

Las poblaciones de microorganismos solubilizadores de fósforo aumentaron en 11 de las 12 fincas, después de implementados los policultivos. Estuvo en cero después en la finca El Carmen, por lo que las poblaciones más altas al inicio fueron en las fincas Fiquetones y El Uvo con 7,8 x10^5 UCF y las más altas después en las fincas Fiquetones y Oreganillal con 3x10^5 UCF (Figura 44).

Figura 44

Poblaciones microorganismos solubilizadores de fósforo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba.



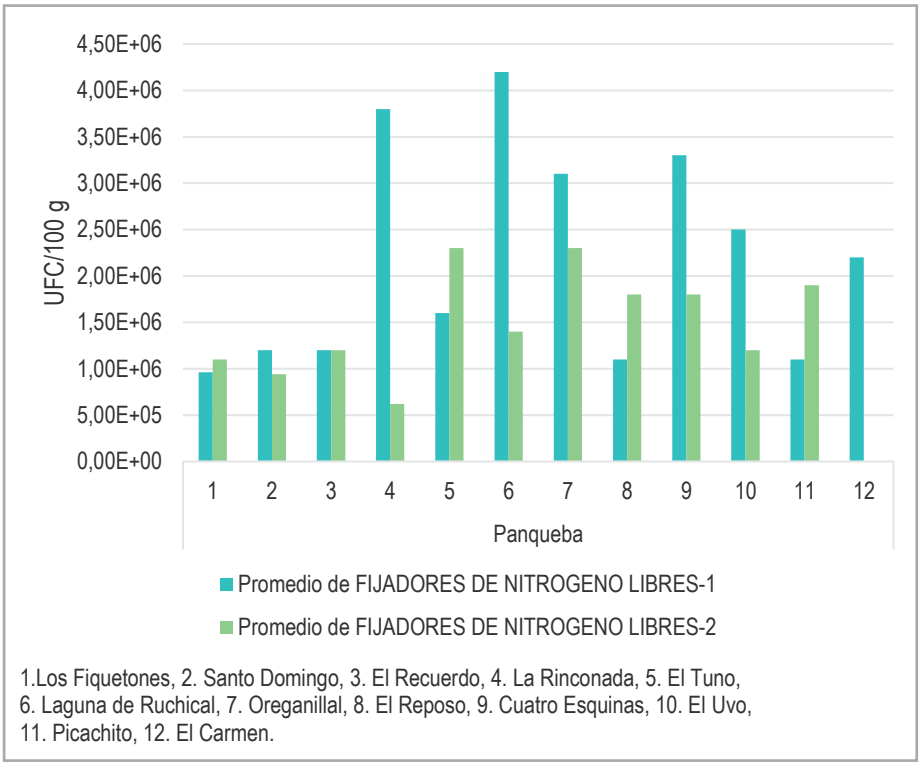
1.Los Fiquetones, 2. Santo Domingo, 3. El Recuerdo, 4. La Rinconada, 5. El Tuno, 6. Laguna de Ruchical, 7. Oreganillal, 8. El Reposo, 9. Cuatro Esquinas, 10. El Uvo, 11. Picachito, 12. El Carmen.

Fuente: Elaboración propia.

Las poblaciones de microorganismos fijadores de N disminuyeron en 7 de las 12 fincas, después de implementados los policultivos con respecto al inicio. No fueron detectables al nivel de 10^6 UCF/100 g de suelo después en la finca El Carmen, sin embargo, sobrepasaron ese umbral en el resto de las fincas. Las poblaciones más altas al inicio fueron en la finca Laguna de Ruchical $4{,}2x10^6$ UCF y las más altas después en la finca El Tuno y Oreganillal con $2{,}2x10^5$ UCF (Figura 45). Se puede decir que hubo un impacto en cierta medida negativo sobre estos fijadores de N, sin embargo, las poblaciones en el suelo fueron altas.

Figura 45

Poblaciones microorganismos fijadores de N en el suelo de las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba.

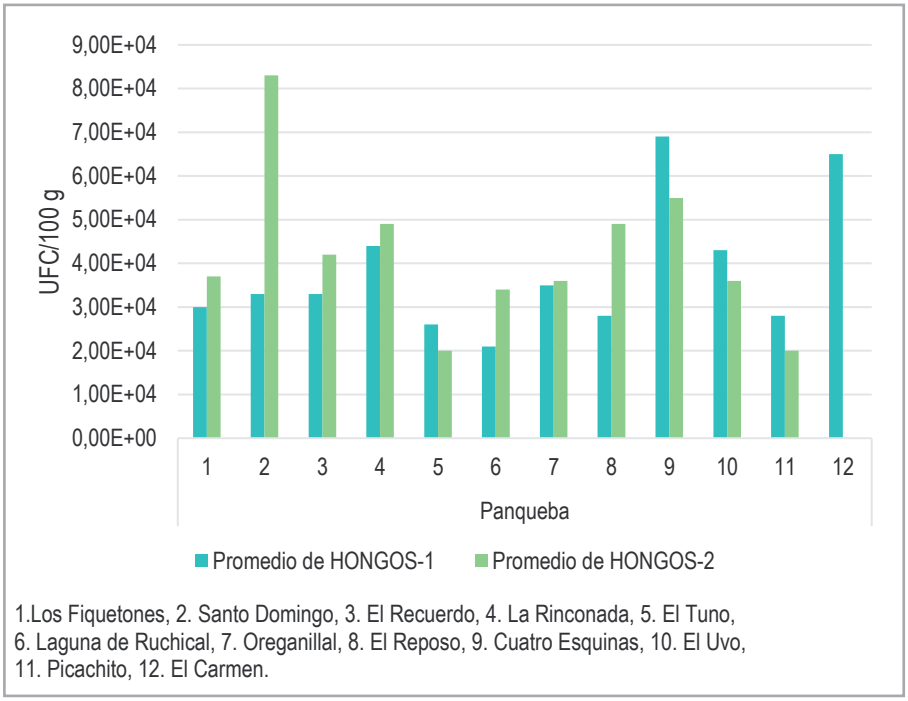


1.Los Fiquetones, 2. Santo Domingo, 3. El Recuerdo, 4. La Rinconada, 5. El Tuno, 6. Laguna de Ruchical, 7. Oreganillal, 8. El Reposo, 9. Cuatro Esquinas, 10. El Uvo, 11. Picachito, 12. El Carmen.

Fuente: Elaboración propia.

Las poblaciones de hongos en el suelo aumentaron en 7 de las 12 fincas, después de implementados los policultivos, con respecto al inicio. Estuvieron en cero después en la finca El Carmen, sin embargo, de forma general las poblaciones estuvieron bastante estables en el resto. Las poblaciones más altas al inicio fueron en la finca Cuatro Esquinas $6{,}5x10^4$ UCF y la más altas después en la finca Santo Domingo con $8{,}1x10^4$ UCF (Figura 46).

Figura 46
Poblaciones de hongos en el suelo de las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba.

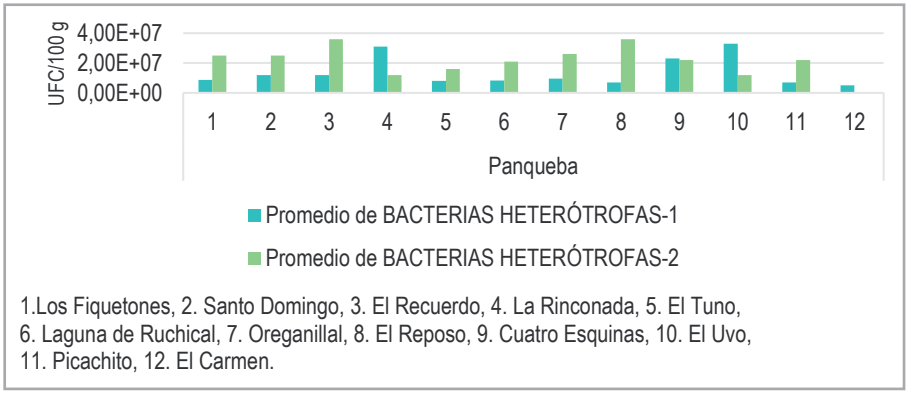


1.Los Fiquetones, 2. Santo Domingo, 3. El Recuerdo, 4. La Rinconada, 5. El Tuno, 6. Laguna de Ruchical, 7. Oreganillal, 8. El Reposo, 9. Cuatro Esquinas, 10. El Uvo, 11. Picachito, 12. El Carmen.

Fuente: Elaboración propia.

Las poblaciones de bacterias heterótrofas aumentaron en 8 de las 12 fincas después de implementados los policultivos, con respecto al inicio, por lo que estuvo en cero después en la finca El Carmen. Las poblaciones más altas al inicio fueron en la finca El Uvo con $3{,}4x10^7$ UCF y las más altas después en las fincas El Recuerdo y El Reposo con $3{,}6x10^7$ UCF (Figura 47).

Figura 47
Poblaciones de bacterias heterótrofas del suelo en las fincas, antes y después de establecidos los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba.



1.Los Fiquetones, 2. Santo Domingo, 3. El Recuerdo, 4. La Rinconada, 5. El Tuno, 6. Laguna de Ruchical, 7. Oreganillal, 8. El Reposo, 9. Cuatro Esquinas, 10. El Uvo, 11. Picachito, 12. El Carmen.

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

Las poblaciones de macrofauna estaban bajas al inicio en las fincas y de alguna forma, se vieron desfavorecidas por la implementación de los policultivos, mientras que sobre las poblaciones de mesofauna los policultivos tuvieron poca influencia. Con relación a los microorganismos, se observó aumento de las poblaciones de actinomicetos en la mayoría de las fincas con la siembra de los policultivos, así como las de los microrganismos celulíticos, los solubilizadores de fósforo, los hongos y las bacterias heterótrofas, mientras que disminuyeron los fijadores de nitrógeno, a pesar de que se mantuvieron en poblaciones altas.

Validación de los modelos agrícolas asociativos desde el punto de población, desarrollo y producción

Población de plantas

De acuerdo con la medición de variables morfométricas realizada en el modelo agroecológico 1, se pudo evidenciar que no se presentó diferencia estadística significativa en cuanto a las variables de población, altura y número de hojas en el cultivo de cebolla entre la parcela policultivo y monocultivo (Tabla 36).

Tabla 36
Resumen población (%) y variables morfométricas modelo 1 -Panqueba

Modelo 1: Cultivo principal cebolla				
Variable		Media	T de student	p-valor
Población (%)	Parcela policultivo	66,75	0,744	0,461
	Parcela monocultivo	57,80		
Altura (cm)	Parcela policultivo	52,40	0,069	0,947
	Parcela monocultivo	52.13		
Número de hojas	Parcela policultivo	6,55	0.607	0,558
	Parcela monocultivo	6,41		

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar la medición de variables morfométricas realizadas en el modelo 2, se pudo evidenciar que no se presentó diferencia estadística significativa en cuanto a las variables de población, altura y número de hojas en el cultivo de durazno entre la parcela policultivo y monocultivo (Tabla 37).

Tabla 37
Resumen población (%) y variables morfométricas modelo 2 -Panqueba

Modelo 2: Cultivo principal durazno				
Variable		Media	T de student	p-valor
Población (%)	Parcela policultivo	96,30	0,744	0,461
	Parcela monocultivo	97,30		
Altura (cm)	Parcela policultivo	52,40	0,069	0,947
	Parcela monocultivo	52,13		
Número de hojas	Parcela policultivo	6,55	0,607	0,558
	Parcela monocultivo	6,41		

Fuente: Elaboración propia.

No hubo diferencia estadística entre la población de la parcela monocultivo y policultivo del modelo 3, al analizar la medición de variables morfométricas realizadas en la altura entre el maíz del mono y policultivo, ni tampoco para las demás variables altura, diámetro de las plantas de maíz y número de mazorcas (Tabla 38).

Tabla 38
Resumen población (%) y variables morfométricas modelo 3 -Panqueba

Modelo 3: Cultivo principal maíz				
Variable		Media	T de student	p-valor
Población (%)	Parcela policultivo	84,28	0,744	0,461
	Parcela monocultivo	88,28		
Altura (cm)	Parcela policultivo	89,95	0,069	0,947
	Parcela monocultivo	109,21		
Diámetro	Parcela policultivo	2,59	0,607	0,558
	Parcela monocultivo	2,63		
N°. de mazorcas	Parcela policultivo	0,37	0,234	0,818
	Parcela monocultivo	0,33		

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

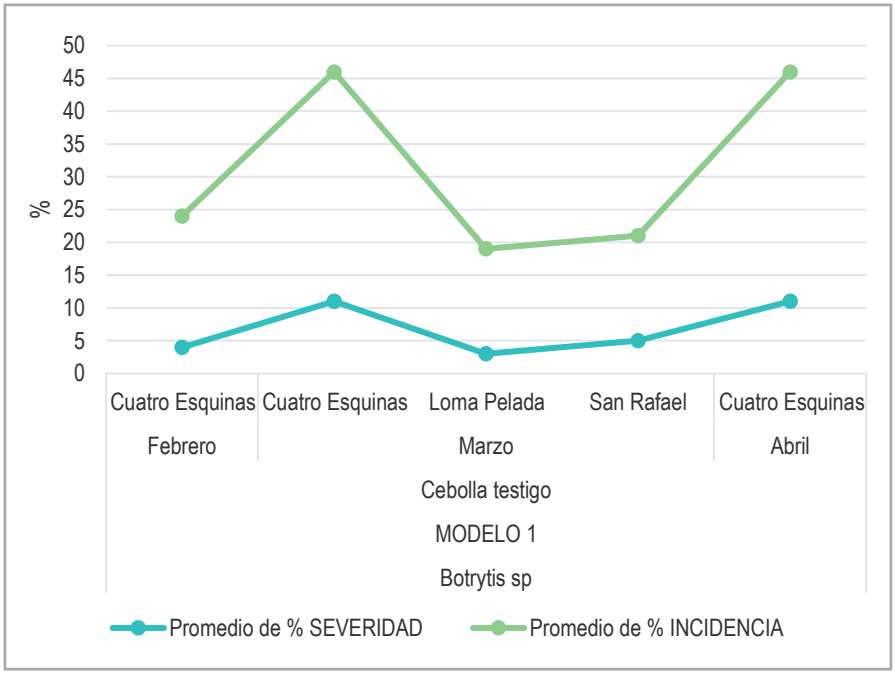
No se detectó diferencia estadística para la población de los cultivos entre la parcela testigo y la parcela en policultivo, en ninguno de los tres modelos del municipio Panqueba. Teniendo en cuenta los valores de variables morfométricas en la implementación de los modelos de policultivos en este municipio se verifica la no influencia del policultivo sobre las variables morfométricas del cultivo principal en ninguno de los tres modelos: 1 (Cebolla-Frijol y Cebolla Testigo) y 2 (Durazno-Frijol- Maíz y Durazno Testigo) y modelo 3 (Maíz-Frijol-Arveja y Maíz Testigo).

Incidencia y dinámica de las plagas y enfermedades, correlación con datos meteorológicos

Los resultados del comportamiento de *Botrytis* sp. en la cebolla en el modelo 1 Cebolla-Frijol del municipio de Panqueba, en los meses febrero-abril de 2022, evidenciaron que los picos más altos de incidencia y severidad se presentaron en la parcela testigo. Respecto al policultivo tuvo mayor incidencia y severidad el predio Cuatro Esquinas durante el mes de abril (Figura 48).

Figura 48

Situación de la incidencia de (Botrytis sp.) en la cebolla monocultivo versus el policultivo del modelo 1: Cebolla-Frijol.

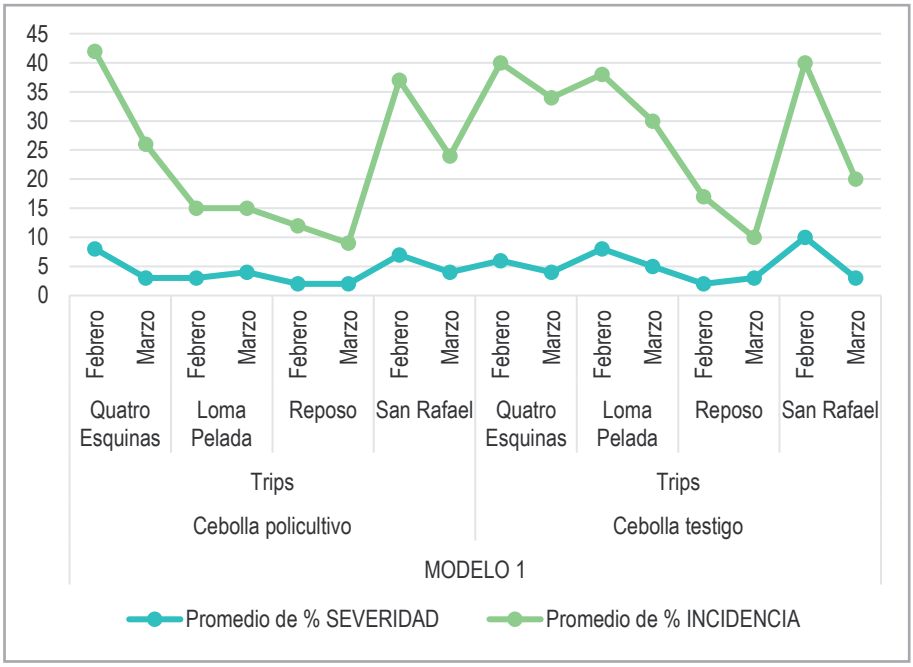


Fuente: Elaboración propia.

La incidencia y severidad de los trips en cebolla en el modelo 1 Cebolla-Frijol del municipio Panqueba en los meses de febrero y marzo, se observa en la Figura 49. El gráfico muestra que la incidencia tuvo una tendencia a presentar picos mayores en el mes de febrero en la finca Cuatro Esquinas en mono y policultivo en el mismo nivel.

Figura 49

Situación de la incidencia de (Trips) en la cebolla monocultivo versus el policultivo del modelo 1 Cebolla-Frijol.

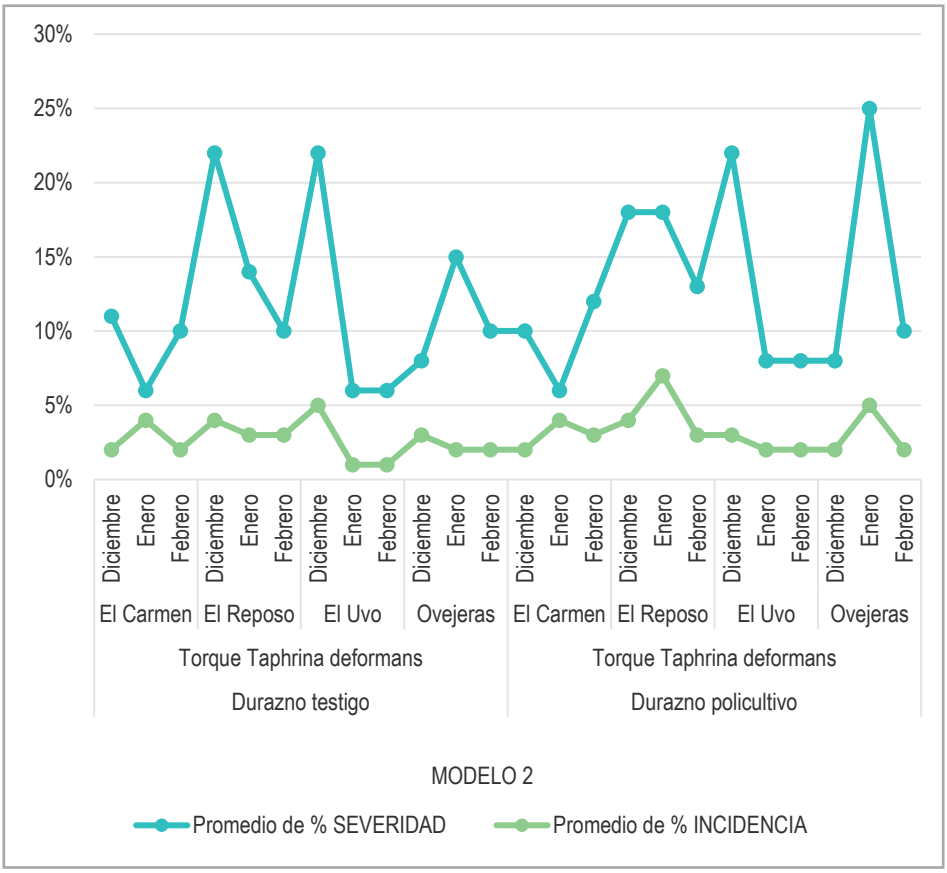


Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del comportamiento del torque *Taphrina deformans* en el durazno en el modelo 2 Durazno-Maíz-Frijol en los meses diciembre-febrero de 2022, mostraron que los picos más altos de incidencia se dieron en el mes de diciembre en la parcela testigo en los predios de El Reposo y El Uvo, mientras en la finca ovejeras en el mes de enero fue el índice más alto de incidencia en la parcela policultivo (Figura 50).

Figura 50

Situación de la incidencia de Taphrina deformans en el durazno en el monocultivo versus el policultivo del modelo 2 Durazno-Maíz-Frijol.

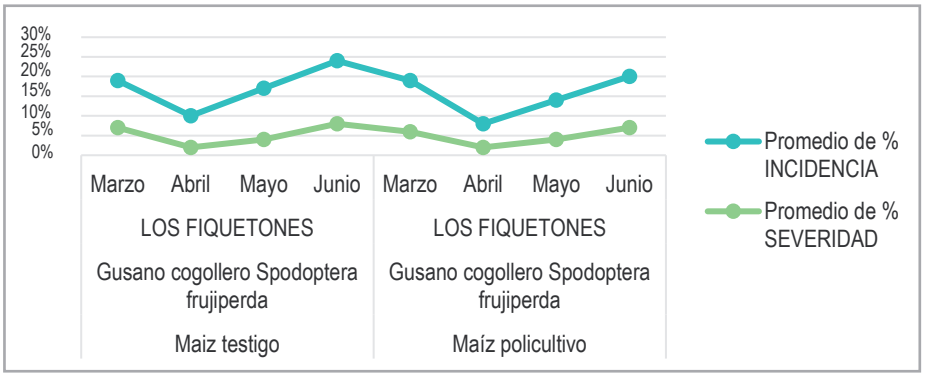


Fuente: Elaboración propia.

La incidencia y severidad de *Spodoptera frugiperda* en maíz en modelo 3 Maíz-Frijol-Arveja del municipio Panqueba en los meses marzo-junio del predio Los Fiquetones, se observa en la Figura 51. El gráfico muestra que la incidencia tuvo una tendencia a presentar picos mayores en el testigo en el mes de junio, en relación con los policultivos en el mismo mes, lo que da la medida de que hubo algún beneficio del sistema de policultivo con relación a la incidencia de esta plaga.

Figura 51

Situación de la incidencia de Spodoptera frugiperda en el maíz en el monocultivo versus el policultivo del modelo 3 Maíz-Frijol-Arveja.

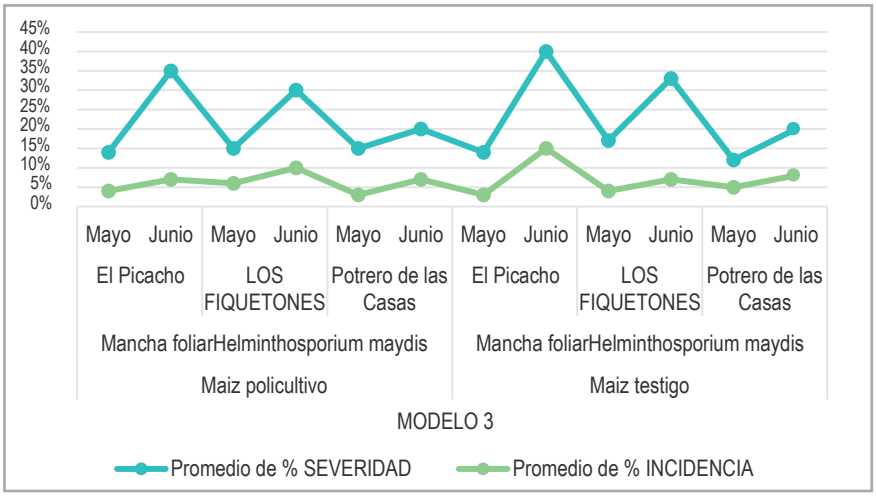


Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del comportamiento de la mancha por *Helminthosporium* en maíz en modelo 3 Maíz-Frijol-Arveja del municipio de Panqueba, en los meses mayo-junio de 2022, evidenciaron que el predio El Picacho presentó los mayores niveles de incidencia en el mes de junio tanto en la parcela testigo como en el policultivo (Figura 52).

Figura 52

Situación de la incidencia de Helminthosporium en el maíz en el monocultivo versus el policultivo del modelo 3 Maíz-Frijol-Arveja, del municipio Soatá.



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

Los resultados del comportamiento de *Botrytis* sp en la cebolla en el modelo 1 Cebolla-Frijol, evidenciaron que los picos más altos de incidencia y severidad se presentaron en la parcela testigo. Lo cual muestra que el policultivo contribuyó a la reducción de plagas y enfermedades.

Los resultados del comportamiento del torque *Taphrina deformans* en el durazno en el modelo 2 Durazno-Maíz-Frijol, mostraron que los picos más altos de incidencia se dieron en la parcela testigo.

La incidencia y severidad de *Spodoptera frugiperda* en maíz en modelo 3 Maíz-Frijol-Arveja, tuvo una tendencia a presentar picos mayores en la parcela testigo con relación al policultivo el mismo mes, lo que da una medida de que hubo algún beneficio del sistema de policultivo en relación a la incidencia de esta plaga.

Valoración de la producción entre la parcela testigo y parcela de policultivos por modelos

Para el modelo 1 en policultivo se obtuvo una producción total de 25,490 Kg de cebolla y Frijol, de las cuales se vendió a 2800 y 6500 pesos mcte respectivamente, precio por kilogramo, mientras que en monocultivo se obtuvo una producción total de 19,900 Kg de arveja que fue vendida 2800 pesos mcte respectivamente, precio por kilogramo.

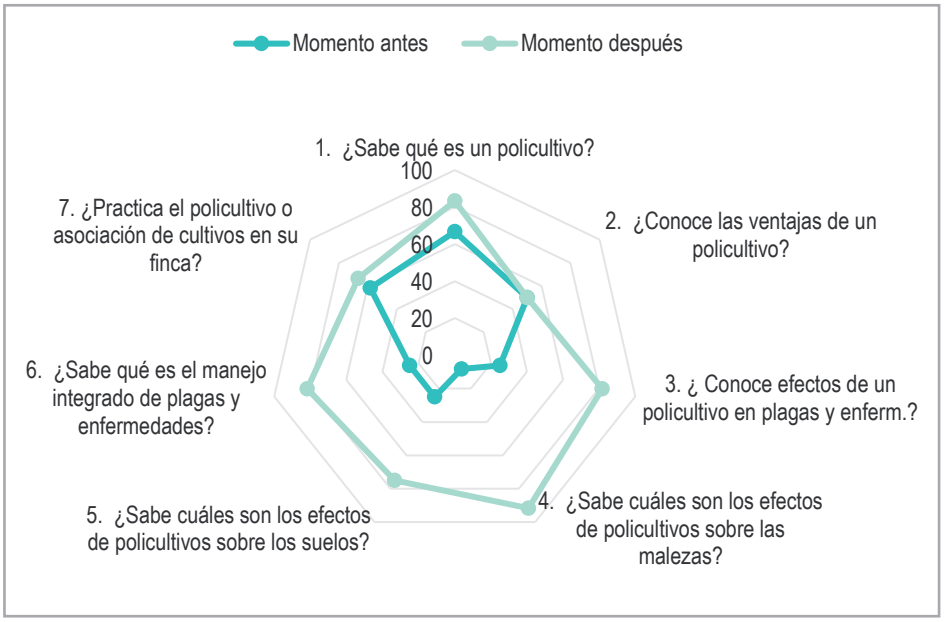
En el modelo 2 en policultivo, se dio una producción total de 305 Kg de Frijol y maíz, de las cuales se vendió 4400 y 1400 pesos mcte precio por kilogramo.

En el modelo 3 en policultivos, se tuvo una producción total de 195 Kg de maíz, arveja y Frijol, para esto se vendió a un precio de 2000, 1800 y 8000 pesos mcte precio por kilogramo, en cuanto a monocultivo se produjo 50 kilogramos que fue vendido a 1600 pesos mcte por kilogramo.

Validación social de los modelos agrícolas asociativos con los agricultores (Taller participativo con matriz DAFO para conocer el nivel de aceptación de los modelos por los agricultores en cada municipio)

En la Figura 53 se presenta el porcentaje de respuestas positivas sobre conocimientos de los policultivos para el momento *antes,* (línea color rojo) y para los puntajes obtenidos en el momento *después* (línea color verde). Se destaca que los porcentajes de respuesta de las preguntas analizadas reflejaron un nivel de conocimiento superior por parte de los agricultores en 2022, indicando que las actividades del proyecto lograron un cambio.

Figura 53
Porcentaje (%) respuestas positivas conocimientos, Panqueba, 2022.



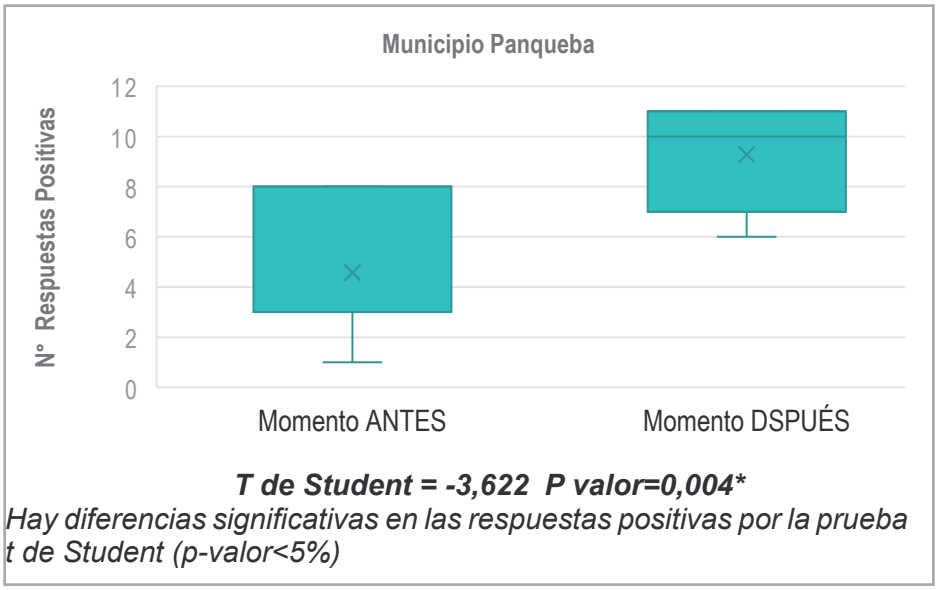
Fuente: Elaboración propia.

Las respuestas a las preguntas que se aproximaron más al conocimiento deseado (100%) fueron la 3, 4, 5 y 6, sin embargo, las que mostraron mayor aumento correspondieron a las que indagaron sobre la sanidad vegetal relacionadas con el conocimiento sobre

efecto de los policultivos sobre las plagas y enfermedades, los efectos de policultivos sobre las malezas, y sobre el concepto de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades. Algo para resaltar fueron las respuestas a la pregunta que indagaba sobre si se practicaba el policultivo o asociación de cultivos en su finca, en la cual los agricultores respondieron de forma afirmativa en un 58,3 % en 2022 con respecto a 66,7% en 2021, lo que al parecer no fue bien entendida por los agricultores que en un 100% habían implementado policultivos en sus fincas.

Los resultados del diagrama de cajas (Figura 54), muestran mediante la letra x dentro de cada caja (valor de la mediana como medida estadística de posición central), que las puntuaciones promedio obtenidas en el momento 2022 fueron superiores al del año 2021, con diferencia estadística significativa (p-valor<5%), lo que implica un aumento significativo y diferencial de los conocimientos acerca de la agroecología por parte de los agricultores como efecto del proyecto.

Figura 54
Puntajes promedio conocimientos sobre policultivos, Panqueba, 2022.



T de Student = -3,622 P valor=0,004*
Hay diferencias significativas en las respuestas positivas por la prueba t de Student (p-valor<5%)

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales

Se observó un incremento significativo del conocimiento de los agricultores sobre agroecología como impacto social del proyecto y, en particular, en las preguntas que indagaron sobre el efecto de los policultivos sobre las plagas y enfermedades, las malezas y en relación con el concepto de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades.

A través de la validación socioeconómica se determinó que el mejor modelo en el municipio de Panqueba fue el número 2: Durazno-Maíz-Frijol, ya que presentó el mejor desarrollo en policultivo y a niveles económicos ha sido muy rentable, siendo una fuente de ingresos a corto y largo plazo al presentar cultivos transitorios y perennes.

Recomendaciones en el municipio de Panqueba

- Brindar más tiempo a proyectos de este tipo para así adecuar más las fechas de siembra y toma de datos, con el fin de tener mayor precisión en el seguimiento que se le hace a cada modelo agroecológico.

- Tener en cuenta en mayor medida la variabilidad climática de cada municipio ya que juega un papel importante en el desarrollo de un cultivo; al no tenerla presente en los cronogramas de siembra, se ocasionan pérdidas de material vegetal y se elevan índices de plagas y enfermedades.

- Socializar los resultados con agricultores, asociaciones y decisores. Del mismo modo, continuar la validación y el seguimiento a los modelos de policultivos de mayor éxito en el municipio para así seguir generando impacto en los agricultores de la región.

- Se sugiere extender la asistencia técnica más allá de la etapa de desarrollo del cultivo, abarcando también las etapas de producción y comercialización, esto permitirá fortalecer todos los eslabones de la cadena productiva y dinamizar la economía a nivel local y regional.

- Promover la implementación de herramientas y estrategias orientadas a los actores rurales para la protección de nacederos, fuentes de agua, la constitución de sistemas de almacenamiento y el uso adecuado de mejores técnicas de sistemas de riego para cada tipo de modelo.

CAPÍTULO VII
CONCLUSIONES

Municipio Soatá

La implementación de los modelos de policultivos en el municipio de Soatá influenciaron poco las propiedades fisicoquímicas del agua de riego, sin embargo, cuando los cambios fueron significativos favorecieron la calidad del agua en todos los casos como la disminución de la concentración del hierro y los cloruros y la disminución del pH.

La generación de los modelos de policultivos en el municipio de Soatá influenciaron poco sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo, ya que no hubo cambios exceptuando el aumento de los cloruros en algunos modelos.

Las poblaciones de macrofauna eran bajas y se vieron desfavorecidas por la implementación de los policultivos, mientras que, sobre las poblaciones de mesofauna tuvieron poca influencia. Con relación a los microorganismos, aumentaron en la mayoría de las fincas las poblaciones de actinomicetos, de microrganismos celulíticos, los moralizadores de fósforo y los hongos con la implementación de los policultivos, mientras que disminuyeron los fijadores de N y las bacterias heterótrofas.

En general, se observaron algunos efectos positivos del policultivo en la reducción de las plagas y enfermedades, por ejemplo, para el torque en el durazno en el modelo 1; en la parcela de policultivo se evidenciaron mayores picos de incidencia y severidad frente al monocultivo. La incidencia y severidad de *Ascochyta* en arveja en el modelo 2 mostró que la incidencia tuvo una tendencia a presentar picos mayores en el testigo con relación al policultivo, mientras que por una parte *Helminthosporium* en maíz en el modelo 3 presentó resultados contradictorios, la incidencia *Spodoptera frugiperd*a tuvo una tendencia a presentar picos mayores en el testigo en relación a

los policultivos en tres fincas.

No hubo diferencia significativa en cuanto a población de plantas entre la parcela testigo y la parcela de policultivo en ninguno de los tres modelos en estudio. Teniendo en cuenta la mediciones de variables morfométricas en la implementación de los modelos de policultivos, en el municipio de Soatá no se presentaron diferencias significativas en las variables morfométricas de los cultivos principales en los sistemas de cultivo en ninguno de los tres modelos estudiados, sin embargo, se destacó por sus resultados el modelo 1: Durazno-Frijol-Maíz el cual presentó el mejor desarrollo y socialmente fue validado por los agricultores como el mejor a nivel fisiológico y económico.

Se observó un incremento significativo del conocimiento de los agricultores sobre agroecología como impacto social del proyecto y, en particular, en las preguntas que indagaron sobre el efecto de los policultivos sobre las plagas y enfermedades, las malezas y en relación al concepto de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades.

Municipio Belén

La implementación de los modelos de policultivos en el municipio de Belén influenció poco las propiedades fisicoquímicas del agua de riego, sin embargo, cuando los cambios fueron significativos favorecieron la calidad del agua en todos los casos como aumento del azufre, la disminución de la concentración del cobre, sodio y el RAS.

La implementación de los modelos de policultivos en el municipio de Belén influenció poco las propiedades fisicoquímicas del suelo, exceptuando un aumento importante en el porcentaje de saturación de bases.

Las poblaciones de macrofauna eran bajas y, de alguna forma, se vieron desfavorecidas por la implementación de los policultivos, mientras que sobre las poblaciones de mesofauna tuvieron poca influencia. Con relación a los microorganismos, disminuyeron en la mayoría de las fincas las poblaciones de actinomicetos, de microrganismos celulíticos, los moralizadores de fósforo y los hongos con la implementación de los policultivos. Los fijadores de N se redujeron en los doce predios estudiados independientemente del policultivo.

En general, se observaron algunos efectos positivos del policultivo en la reducción de las plagas y enfermedades. Los resultados del comportamiento de *Phytophtora infestans y Epitrix* sp., evidenciaron que hubo algún beneficio del sistema de policultivo en relación a la incidencia.

El comportamiento del tizón por *Phytophtora infestans* y la plaga *Epitrix* sp en papa mostró su pico más alto en la parcela asociada, lo que da una medida de que hubo poco beneficio del sistema de policultivo en relación a la incidencia de esta plaga.

La incidencia y severidad de *Spodoptera frugiperda* en maíz, evidenció que la incidencia registró una tendencia a presentar picos mayores en el testigo durante el mes de junio, en relación al policultivo que el mismo mes presentó menor incidencia, siendo positivo el Frijol junto al maíz para la reducción de plagas.

No hubo diferencia significativa en cuanto a la población de plantas entre la parcela testigo y la parcela de policultivo en ninguno de los tres modelos en estudio. Teniendo en cuenta las mediciones de variables morfométricas en la implementación de los modelos de policultivos, en el municipio de Belén no se presentaron diferencias significativas en las variables morfométricas de los cultivos principales en los sistemas de cultivo. Modelo 1 (Papa-Arveja y Papa Testigo), modelo 2 (Papa criolla-Arveja y Papa Testigo) y modelo 3 (Maíz-Frijol y Maíz Testigo). Sin embargo, se destacó por sus resultados el modelo 1: Papa superior-Arveja el cual presentó mayor desarrollo y socialmente fue validado por los agricultores como el mejor a nivel fisiológico y económico.

Se observó un incremento significativo del conocimiento de los agricultores sobre agroecología como impacto social del proyecto y, en particular, en las preguntas que indagaron sobre el efecto de los policultivos sobre las plagas y enfermedades, las malezas y con relación al concepto de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades.

Municipio Panqueba

La implementación de los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba, no presentó influencia con diferencia significativa en las

propiedades fisicoquímicas del agua. Se presentó una disminución de amonio lo cual puede considerarse positivo porque esta forma de N puede ser toxica para algunos cultivos.

Los modelos de policultivos en el municipio de Panqueba influenciaron poco las propiedades fisicoquímicas del suelo, ya que no hubo cambios exceptuando el aumento del boro; elemento de gran importancia en el llenado y cuaje de los frutos, lo cual se rescata como un aspecto positivo.

Las poblaciones de macrofauna eran bajas y de alguna forma, se vieron desfavorecidas por la implementación de los policultivos, mientras que sobre las poblaciones de mesofauna tuvieron poca influencia. Con relación a los microorganismos, aumentaron en la mayoría de las fincas las poblaciones de actinomicetos, de microrganismos celulíticos, los moralizadores de fósforo y los hongos y las bacterias heterótrofas con la implementación de los policultivos, mientras que disminuyeron los fijadores de N**.**

Los resultados del comportamiento de *Botrytis* sp en la cebolla, en el modelo 1 Cebolla-Frijol, evidenciaron que los picos más altos de incidencia y severidad se presentaron en la parcela testigo; lo cual muestra que el policultivo contribuyó a la reducción de plagas y enfermedades.

Los resultados del comportamiento del torque *Taphrina deformans* en el durazno en el modelo 2 Durazno-Maíz-Frijol, mostraron que los picos más altos de incidencia se dieron en la parcela testigo, siendo de gran impacto el establecimiento del policultivo ya que redujo la incidencia de enfermedades.

La incidencia y severidad de *Spodoptera frugiperda* en maíz en modelo 3 Maíz-Frijol-Arveja, tuvo una tendencia a presentar picos mayores en la parcela testigo con relación al policultivo el mismo mes, lo que da una medida de que hubo algún beneficio del sistema de policultivo en relación a la incidencia de esta plaga.

No se presentó diferencia estadística entre las poblaciones de la parcela testigo y la parcela en policultivo en ninguno de los tres modelos del municipio Panqueba. Teniendo en cuenta los valores de variables morfométricas en la implementación de los modelos de policultivos, en el municipio de Panqueba se verifica la no influencia

del policultivo sobre las variables morfométricas del cultivo principal en ninguno de los tres modelos en estudio, sin embargo, se destacó por sus resultados el modelo 2: Durazno-Frijol-Maíz el cual presentó el mejor desarrollo y socialmente fue validado por los agricultores como el mejor a nivel fisiológico y económico.

Capítulo VIII
Bibliografía

Acevedo-Osorio, Á., Ortíz-Przychodzka, S., & Ortiz-Pinilla, J. E. (2020). Aportes de la agrobiodiversidad a la sustentabilidad de la agricultura familiar en Colombia. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 23, 1–11.

Adamczewska-Sowińska, K., & Sowiński, J. (2020). Polyculture Management: A crucial system for sustainable agriculture development. In R. Meena (Ed.), Soil Health Restoration and Management (1st ed., pp. 279–320). Springer Nature Singapore Pte. Ltd. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8570-4

Altieri, M. A., & Toledo, V. M. (2010). La revolución agroecológica de América Latina Rescatar la naturaleza, asegurar la soberanía alimentaria y empoderar al campesino. *El Otro Derecho*, 42, 163 202.

Araújo Neto, S. E. de, Campos, P. A., Tavella, L. B., Solino, A. J. da S., & Silva, I. F. da. (2014). Organic polyculture of passion fruit, pineapple, corn and cassava: the influence of green manure and distance between espaliers. In *Ciência e Agrotecnologia 38*(3),. 247–255). https://doi.org/10.1590/s1413-70542014000300004

Banda, L., Corredor, D., & Corredor, G. (2004). Efecto de la asociación patilla (*Citrullus lanatus*) con maíz (*Zea mays*) sobre la población y el daño causado por tres insectos plaga y el rendimiento de estos cultivos en la Ciénega Grande de Lorica, Córdoba. *Revista Colombiana de Entomología. 30*(2), 161–169).

Baños-Picón, L., Torrez, F., Tormos, J., Gayubo, S., & Asís, J. (2013). Comparison of two Mediterranean crop systems: Polycrop favours trap-nesting solitary bees over monocrop. Basic and Applied Ecology 14, 14, 255–262.

Boyacá Agro. Desarrollo estratégico agroecológico para el fortalecimiento del sector productivo en el departamento de Boyacá. Secretaria de fomento agropecuario. Tunja – Boyacá. 2018.

Cano-Ojeda, J., & Atajo-Condori, J. (2019). Calidad del agua de la irrigación canal N de río Llallimayo y aptitud Agrícola Distrito Cupi-Melgar 2018. *Revista de investigaciones de posgrados, 8*(2), 1069-1081. Obtenido de: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7616732

Castellón Gómez, J., Bernal Muñoz, R., & Hernández Rodríguez, M. (2014). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería, 19*(1), 39-50.

Corrado C., Elena T., Giancarlo R., Stefano C. (2019) The Role of Agrobiodiversity in Sustainable Food Systems Design and Management. In: Nandwani D. (eds) Genetic Diversity in Horticultural Plants. Sustainable Development and Biodiversity, 22. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96454-6_9

Ebel, R., Pozas, J., Soria, F., & Cruz, J. (2017). Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo Organic milpa: yields of maize, beans, and squash in mono-and polycropping systems. Terra Latinoamericana, 35, 149–160. http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v35n2/2395-8030-tl-35-02-00149.pdf

FAO (2018). Los 10 elementos de la agroecología. Guía para la transición hacia sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles. FAO. Roma Italia.

Flores-Sánchez, D., Navarro-Garza, H., Carballo-Carballo, A., & Pérez-Olvera, A. (2012). Sistemas de cultivo y biodiversidad periurbana. Estudio de caso en la cuenca del río Texcoco. Agricultura, Sociedad y *Desarrollo, 9*(2), 209–223.

García, M.T. Castellanos L., Rojas J.A. (2015) Empleo de policultivos para el manejo de plagas en el maíz (*Zea mays* L.). Tesis doctorada. Universidad Central de Las Villas DOI:10.13140/RG.2.2.17884.18568

Ghazali, A., Asmah, S., Syafiq, M., Yahya, M. S., Aziz, N., Tan, L. P., Norhisham, A. R., Puan, C. L., Turner, E. C., & Azhar, B. (2016). Effects of monoculture and polyculture farming in oil palm smallholdings on terrestrial arthropod diversity. Journal of Asia-Pacific Entomology, 19(2), 415–421. https://doi.org/10.1016/j.aspen.2016.04.016

Giraldo, J., Sinisterra, J. A. & Murgueitio, E. (2011). Árboles y arbustos forrajeros en policultivos para la producción campesina: Bancos Forrajeros Mixtos. LEISA Revista de Agroecología, 27(2), 15-18.

Gliessman-Stephen, R. (2002). Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible. In Diversidad y estabilidad del agroecosistema.

Gómez, I., Fernández, L., Estrada, L., Olivera, Y., & Botello, A. (2014). Effect of polycropping on the establishment of three tropical grasses, on a Vertisol soil of the Cauto Valley. *Pastos y Forrajes, 37*(1), 92–96.

Gutiérrez-Hernández, G. F., Virgen-Vargas, J., & Arellano-Vázquez, J. L. (2007). Germinación y Crecimiento inicia de semillas de Maíz co-envejecimiento natural. *Agronomía MesoAmericana, 18*(2), 163-170. Obtenido de https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/5046/4853

Halada, L., Evans, D., Romão, C., & Petersen, J. E. (2011). Which habitats of European importance depend on agricultural practices? Biodiversity and Conservation, 20(11), 2365–2378. https://doi.org/10.1007/s10531-011-9989-z

Herrera-Pérez, L., Valtierra-Pacheco, E., Ocampo-Fletes, I., Tornero-Campante, M. A., Hernández-Plascencia, J. A., & Rodríguez-Macías, R. (2017). Ecological practices in Agave tequilana Weber under two agricultural systems in Tequila, Jalisco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *8*(SPE18), 3711-3724.

Kazemi, H., Klug, H., & Kamkar, B. (2018). New services and roles of biodiversity in modern agroecosystems: A review. Ecological Indicators, 93(June), 1126–1135. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.018

León, A., Pino, M., González, C., & Pozo, E. (2001). Comparative evaluation of insect biodiversity in Tomato-Maize polyculture. Cultivos Tropicales, 22(1), 5–9.

Liebman, M. (1997). Sistemas de policultivos. pp. 191-202. *In:* M. Altieri. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. CIED. Lima, Perú.

Mishra, B. P. (2011). Vegetation composition and soil nutrients status from polyculture to monoculture. African Journal of Environmental Science and Technology Vol., 5(5), 363–366.

Moebius-Clune, B. N., van Es, H. M., Idowu, O. J., Schindelbeck, R. R., Kimetu, J. M., Ngoze, S., Lehmann, J., & Kinyangi, J. M. (2011). Long-term soil quality degradation along a cultivation chronosequence in western Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 141*(1–2), 86–99. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.018

Molano-Aponte, L. J. (2018). Rendimientos productivos del sector agrícola colombiano: análisis comparativo de microrregiones y estratos sociales (2010 – 2013). *Tesis*. Quito, Ecuador.

Nicholls, C. I., Altieri, M. A., Kobayashi, M., Tamura, N., McGreevy, S., & Hitaka, K. (2020). Estimando el nivel agroecológico de una finca: una herramienta de evaluación para agricultores. *Agro Sur*, *48*(2), 29–41. https://doi.org/10.4206/agrosur.2020.v48n2-04

Nicholls, C., & Altieri, M. (2002). Biodiversidad y diseño agroecológico: un estudio de caso de manejo de plagas en viñedos. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (CATIE). (No.65) p. 50-64., 1(65), 50–64.

Oliveira, L. A. d. A., Bezerra Neto, F., Barros Júnior, A. P., Da Silva, M. L., Oliveira, O. F. N., & De Lima, J. S. S. (2017). Agro-economic efficiency of polycultures of arugula-carrot-lettuce fertilized with rooster tree at different population density proportions. *Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental, 21*(11), 791–797. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n11p791-797

Osorio N.W. (2012). Boletín del Manejo Integral del Suelo y la Nutrición Vegetal. Volumen 1 No. 6. Laboratorio de Suelos.

Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín.

Ouyang, C., Wu, K., An, T., He, J., Zi, S., Yang, Y., & Wu, B. (2017). Productivity, economic, and environmental benefits in intercropping of maize with chili and grass. *Agronomy Journal, 109*(5), 2407–2414. https://doi.org/10.2134/agronj2016.10.0579

Rojas, A. (2009). Policultivos de la mente. Enseñanzas del campesinado y de la agroecología para la educación en la sustentabilidad. Agroecología, 4, 29–38. http://revistas.um.es/agroecologia/article/view/117161

Ruiz-González, R. O., & Victorino-Ramírez, L. (2015). Respuesta del policultivo Jamaica-frijol-maíz a tratamientos de fertilización en Villaflores, Chiapas, México. *Agrociencia*, 49(5), 545–557.151-161.

Salgado-Sánchez, Raquel. (2015). Agricultura sustentable y sus posibilidades en relación con consumidores urbanos. *Estudios sociales (Hermosillo, Son.), 23*(45), 113-140.

Sarandón, S.J. (2020). Biodiversidad, agroecología y agricultura sustentable. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). La Plata. Argentina.

Signore, A., Renna, M., & Santamaria, P. (2019). Agrobiodiversity of vegetable crops: Aspect, needs, and future perspectives. *Annual Plant Reviews Online, 2(*1), 41–64. https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0687

Stupino, S., Iermanó, M. J., Gargoloff, N. A., & Bonicatto, M. M. (2014). La biodiversidad en los agroecosistemas. *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Colección libros de cátedra. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. Capítulo*, *5*, 131-158.

Tittonel P. A. (2013). Farming systems ecology: towards ecological intensification of world agriculture. Universidad de Wageningen. The Netherland.

Yahya, M. S., Syafiq, M., Ashton-Butt, A., Ghazali, A., Asmah, S., & Azhar, B. (2017). Switching from monoculture to polyculture

farming benefits birds in oil palm production landscapes: Evidence from mist netting data. Ecology and Evolution, 7(16), 6314–6325. https://doi.org/10.1002/ece3.3205

HAROLD IGNACIO BAUTISTA GONZÁLEZ

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Pamplona);
MSc. en Ciencias Agrarias (Unipamplona).

Adscrito al Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) como profesional de la Dirección Técnica de Epidemiología. Integrante del Grupo de Investigación GIATAS de la Universidad de Pamplona. Gestor de Investigación del proyecto BoyacáAgro 2 de la UP (2021-2022). Coordinador Zonal de Norte de Santander en la epsea UPTC para la ejecución del Servicio Público De Extension Agropecuaria. (2023-2024). Profesional de apoyo en el proyecto FORAGRI en el municipio de Pamplona, Norte de Santander (2023-2024). Coordinador de Asistencia Técnica, Municipio de Mutiscua, Norte de Santander (2024).

https://orcid.org/0000-0002-4308-8706

LEÓNIDES CASTELLANOS GONZÁLEZ

Ingeniero Agrónomo. Ph.D y MSc. en Ciencias Agrícolas, Investigador Senior de MINCIENCIAS

Docente del Programa Ingeniería Agronómica y director del Programa de Maestría Ciencias Agrarias de la Facultad de Ciencias Agrarias (Unipamplona). Director del Grupo de Investigación en Agroecología y Transformación Agraria Sostenible (GIATAS). Director de semillero de Agroecología. Autor de más de 20 libros o capítulos de libros y de más de 200 artículos científicos. Ha participado en más de 30 proyectos de Investigación Desarrollo en Cuba, Colombia y a nivel internacional, que incluyen cinco proyectos de Regalías.

https://orcid.org/0000-0001-9285-4879

GLADYS MONTAÑEZ ACEVEDO

Licenciada en Matemáticas y Estadística (UPTC),
MSc. en Matemáticas mención educación (UNET).
Doctora en Estadística (UCV)

Docente Ocasional Tiempo Completo, adscrita a la Facultad de Ciencias Básicas, de la Universidad de Pamplona. Directora del Departamento de Matemáticas (2011-2013); integrante del Grupo de Investigación en Recursos Naturales- (GIRN); Profesional del soporte estadístico de convenios (3714 del 2019; 0306 del 2020) entre el departamento de Boyacá y Norte Santander; Coautora de varios módulos de cartillas sobre estrategias pedagógicas en educación ambiental, en convenio con Fundación Alianza Biocuenta (0336 del 2018). Docente de pregado y posgrado como orientadora de asignaturas y seminarios del área estadística.

https://orcid.org/0000-0002-4285-3218

SELLO EDITORIAL
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

ISBN (Digital): 978-628-7656-52-9