



Capítulo 3.

Evaluación agroecológica de tres sistemas productivos de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.), en el Oriente Antioqueño, Colombia

Lina María Gómez Betancur

Ing. Agron., MSc, DSc. Profesora de cátedra de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Grupo Gisas

Sara María Márquez Girón

Ing. Agric., DSc. Profesora titular de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Grupo Gisas

Luis Fernando Restrepo Betancur

Estad., Esp. Profesor titular de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Grupo Statistical

Resumen

Este artículo muestra los resultados de la investigación realizada para evaluar la problemática de productividad relacionada con una alta incidencia de plagas y enfermedades, agravada por el uso de prácticas agrícolas inadecuadas como el monocultivo y el uso de plaguicidas. Se realizó en

tres casos específicos identificados en el municipio de El Carmen de Viboral, Oriente Antioqueño. En el diseño metodológico se intercambiaron, recopilaron y sistematizaron experiencias y conocimientos entre las instituciones involucradas en el estudio y un grupo de 15 productores. Se utilizaron metodologías cualitativas y cuantitativas, como el diagnóstico participativo del estado en que se encontraban los agroecosistemas y la evaluación rápida con análisis de laboratorio, para medir la fertilidad del suelo y la sanidad del cultivo. Adicionalmente, se realizaron análisis estadísticos en tres tratamientos por medio de un diseño de clasificación experimental en bloques completamente aleatorizado de efecto fijo y análisis multidimensional de la varianza (**MANOVA**). Como resultado se obtuvo diferencia estadística entre tratamientos para las variables: altura, número de fríjoles, peso de la vaina y rendimiento a favor del tratamiento que consistió en la siembra de maíz 45 días antes de la siembra del fríjol.

Palabras clave: *biodiversidad, policultivos, cultivo fríjol, agricultores, agroecología*

I. Introducción

La agricultura convencional ha tenido consecuencias generalmente negativas que impactan al medio ambiente y la economía de los diferentes países. Esto se debe a que no se han tomado medidas para preservar los recursos naturales, lo cual ha incidido en los componentes: suelo, agua, aire y biodiversidad. La agricultura está asociada con un porcentaje significativo de uso del suelo, el cual es explotado de manera continua a fin de satisfacer la demanda alimenticia de las personas. Así, los pastos y cultivos representan el 37% de la superficie de las tierras del mundo. Adicionalmente, se emplean grandes cantidades de agua para el riego

de los cultivos, mucha de la cual se desperdicia por el mal uso (Torres, 2019). La agricultura orgánica se presenta como una alternativa de estrategia de desarrollo que trata de cambiar algunas de las limitaciones detectadas en la producción convencional (Samayoa et al., 2003).

Entre 1940 y 1980 se dio una revolución industrial llamada revolución verde, relacionada con el sistema agroalimentario mundial, la cual tuvo como fin incrementar el rendimiento por hectárea de los cultivos tradicionales y no tradicionales. Esto se logró en gran medida gracias al desarrollo tecnológico de equipos y al avance en el conocimiento científico desplegado a través de la implementación de paquetes tecnológicos en la industria agrícola. La revolución trajo grandes consecuencias en lo referente al aspecto ambiental y en la incidencia social relacionada con el sector campesino. En la década de los setenta, organizaciones sociales y universidades empezaron a proponer diversas alternativas para dar solución a las problemáticas que el modelo hegemónico no lograba resolver (Altieri, 2002). En este contexto surge el enfoque agroecológico como un proceso emergente que intenta dar respuestas a las problemáticas existentes en el agro (Navarrete, 2017), trayendo un impacto económico, social y ambiental (Oliveira et al., 2014). Los sistemas de producción agroecológica tienen dentro de sus objetivos mejorar la calidad de vida de la población que cuenta con pequeños latifundios al maximizar los recursos productivos que poseen, al tiempo que se incorporan factores económicos, sociales y culturales (Altieri & Nicholls, 2002). La evaluación agroecológica se relaciona con aspectos de producción asociados al cultivo, aspectos ambientales, sociales y económicos.

En este capítulo se presenta una evaluación agroecológica asociada a tres sistemas productivos de frijol. Se seleccionó esta leguminosa pues, de acuerdo con Rivero et al. (2016),

la planta del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) constituye una de las fuentes más importantes de proteínas, hidratos de carbono, fibra y minerales en la dieta humana en los países en vías de desarrollo de las áreas tropicales y subtropicales. Además de su calidad como alimento, posee la capacidad de fijar nitrógeno en el suelo, dado que forma asociaciones simbióticas con bacterias que fijan nitrógeno atmosférico. (p. 59)

Adicionalmente, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), el frijol (*Phaseolus vulgaris*) se produce en 129 países y su producción mundial es de 22,8 millones de toneladas, cuyo 64,8% se concentra en siete países: Myanmar, India, Brasil, México, Tanzania, Estados Unidos y China. El volumen de las exportaciones del cultivo del frijol a nivel mundial representa el 18% de la producción global, ubicándose en promedio en 4,1 millones de toneladas anuales (Fira, 2015).

En Colombia se siembra frijol en muchas regiones; la mayor producción se concentra en los departamentos de Cundinamarca, Tolima, Huila, Antioquia y Santander, donde el área promedio de siembra es de una hectárea. Este cultivo es de gran interés para el sector campesino debido a la sostenibilidad económica que se deriva de él, en parte porque ofrece la gran ventaja de que se puede sembrar en conjunto con otros cultivos y rotar con cultivos transitorios como el maíz y la arveja (Ospina et al., 2020). Es tradicional que lo cultiven pequeños y medianos productores localizados principalmente en la región andina.

En Antioquia la mayor producción está en el oriente del departamento; la oficina regional de la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (Fenalce, 2015) reportó que había 11.053 hectáreas sembradas en 2015, con un rendimiento de 1,39 toneladas por hectárea. Los productores del municipio de El Carmen de Viboral, ubicado justamen-

te en el oriente, aprovechan los servicios ecosistémicos del policultivo maíz (*Zea mays*)–fríjol.

Según Altieri & Nicholls (2007), los sistemas de policultivos se caracterizan por la diversidad de especies de plantas integradas alrededor de la necesidad de producir biodiversidad de alimento. Para Gutiérrez-Martínez et al. (2007) este policultivo permite mayor rentabilidad y trae beneficios para ambos cultivos pues protege el suelo de la erosión, mejora la fertilidad, corta ciclos de plagas y enfermedades y disminuye el número de desyerbas. De esta manera se obtiene mayor eficiencia en las labores de cultivo; se posibilita una mayor diversidad en el sistema de raíces, en tanto exploran el suelo de formas diferentes; se aprovechan mejor el agua, el espacio y la luz y no se perturba la naturaleza por el corte de madera para el tutorado. Los policultivos también generan un microclima que ayuda a la protección de los cultivos de condiciones meteorológicas adversas como vientos fuertes, sol excesivo y altas precipitaciones. Además, permite integrar mayores cantidades de biomasa al agroecosistema y reducir la entrada y dependencia de insumos externos (León-Sicard, 2009).

Por consiguiente, y según lo expuesto por Vélez Vargas et al. (2007), cuando se establece una asociación entre maíz y fríjol se aprovechan los beneficios ecosistémicos de los dos cultivos: el maíz sirve de soporte para el crecimiento del fríjol y, por su parte, el fríjol facilita la fijación de nitrógeno al suelo. En este sentido hay rendimientos mayores por unidad de área, con lo cual es más eficiente el uso de recursos económicos y ambientales (agua, nutrientes y luz), al igual que la mano de obra y tierra. Adicional a esto, mediante un modelo de producción sostenible es posible aumentar los ingresos de los agricultores al adoptar un adecuado manejo del agroecosistema, que también permite producir cul-

tivos sanos, fuertes y resistentes al ataque de plagas y enfermedades y protege el medio ambiente y la salud del ser humano gracias a la diversificación de cultivos y el no uso de agroquímicos, tal como lo establecen Gómez & Agudelo (2006) en la cartilla propuesta para la educación agroecológica de Corantioquia.

La investigación que sustenta este artículo tuvo como objetivo central evaluar tres sistemas de producción tradicional en El Carmen de Viboral. Se escogieron los cultivos de fríjol y maíz dada su importancia en el país, principalmente en zonas de economía campesina. Estos productos no solo son parte importante de la dieta (proporcionan proteínas y vitaminas) y de la vida cotidiana de la población, también se les han dado diversos usos como envoltura de alimentos y materia prima para combustible, construcción, productos industrializados, dietas ganaderas y artesanías (Vargas, 2014).

El objetivo de la presente investigación consistió en hacer una evaluación agroecológica de tres sistemas productivos de fríjol (*Phaseolus vulgaris L.*) en El Carmen de Viboral, Departamento de Antioquia, Colombia. Con el fin de establecer cuál tratamiento es el más efectivo para ser implementado en la región, y así mejorar la producción asociada al cultivo, la calidad de vida de las personas que lo cosechan, entre otros factores.

2. Metodología

La investigación relacionada con el presente estudio se clasifica como descriptiva comparativa de tipo multidimensional, la cual se llevó a cabo en el municipio El Carmen de Viboral localizado en las coordenadas 6° 4' 55" N, 75° 20' 3" W, subregión oriente del Departamento de Antioquia, Colombia. Cuenta con una altitud de 2.150 msnm y tiene una tempera-

tura media de 17°C, características que lo convierten en una región ideal para la siembra de frijol. Posee un total de 46.751 habitantes (Sitio web Carmen de Viboral, 2015), ubicados en 55 veredas de la zona rural, con 16.453 habitantes, y 30.107 habitantes en la zona urbana. La región se caracteriza por la presencia de bosque montano bajo.

El estudio se efectuó con la participación voluntaria de 15 agricultores del municipio, con ellos se realizaron encuentros comunitarios en los que compartieron conocimientos y experiencias relacionadas con el manejo del cultivo, las cuales constituyen la base de actividades de investigación de científicos y profesionales de todas las disciplinas académicas interesados en formular estrategias de desarrollo rural a partir de distintos enfoques participativos. En las reuniones programadas se realizaron una serie de discusiones relacionadas con el tema y se efectuaron varios ejercicios grupales que permitieron la focalización de las prácticas y reflexiones asociadas con el cultivo del frijol.

Se utilizó un enfoque descriptivo comparativo de tipo multidimensional con el fin de analizar diversos componentes en las fincas de manera participativa. Este enfoque permitió dar una visión integral del objeto de estudio teniendo en cuenta los siguientes aspectos: capacitaciones y sensibilización de productores en temas relacionados con el enfoque de sistemas, cartografía, principios agroecológicos y técnicas de evaluación rápida de suelo y cultivo. La participación de los campesinos en el proceso investigativo fue fundamental, debido a la interacción de conocimientos compartidos relacionados con el cultivo del frijol, lo que permitió avanzar de manera significativa en pos de lograr los objetivos trazados.

Las variables cuantitativas evaluadas en la medición del cultivo fueron: peso, tamaño, número de vainas y número de granos de frijol; para realizar estas mediciones se utilizaron balanzas y calibradores digitales. Los

tratamientos utilizados en la presente investigación fueron: tratamiento 1 (T1): frijol y maíz sembrados simultáneamente; tratamiento 2 (T2): frijol en monocultivo orgánico y tratamiento 3 (T3): frijol sembrado 45 días después de sembrar el maíz.

En cuanto a la dimensión agrícola del estudio, se utilizó la variedad criolla de maíz y la variedad Cargamanto de frijol, las cuales se siembran en alturas desde 1.800 hasta 2.500 msnm. Estas variedades son utilizadas en el departamento de Antioquia y apetecidas en el mercado por el tipo de grano, color, forma y tamaño. No obstante, según lo afirman Montoya-Estrada & Castaño Zapata (2009), una característica desfavorable de los frijoles tipo Cargamanto es su alta susceptibilidad a enfermedades.

El frijol es un cultivo que requiere una serie de características para tener un rendimiento óptimo al momento de la cosecha. En general, el frijol crece en una temperatura de entre 15 y 27°C y a una altura entre los 1.000 y 3.000 msnm. En cuanto al suelo, este debe ser profundo, contar con un buen plan de fertilización y tener propiedades físicas óptimas, donde predomine la presencia de textura franco-limosa, si bien también tolera texturas franco-arcillosas. El frijol se desarrolla bien en suelos con pH que oscile entre 5,5 y 6,5, donde la topografía sea plana y ondulada, con buen drenaje. Es muy importante tener en cuenta al momento de la siembra cómo está constituido el suelo, con el fin de efectuar los ajustes requeridos para maximizar la cosecha.

Como base para la recomendación del abono aplicado al cultivo se trabajó con los resultados de las propiedades químicas (Tabla 1), propiedades físicas (Tabla 2) y propiedades biológicas (Tabla 3) obtenidas en las evaluaciones de laboratorio.

La planta de frijol se puede clasificar con base en sus hábitos de crecimiento, los cuales son: determinado arbustivo, indeterminado arbusti-

vo, indeterminado postrado, indeterminado trepador. Cada variedad de frijol debe tener unas condiciones de suelo adecuadas para su desarrollo vegetativo.

Tabla 1. Propiedades químicas del suelo

INDICADOR	RANGO		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Materia orgánica	Menor del 5%	5% – 10%	Mayor 10%
pH	Menor a 5,5	5,5 – 7	Mayor a 7
Al (meq/100 g suelo)	Menor del 1%	1% – 5 %	Mayor de 5%
Ca	Menos de 3	3 – 6	Mayor de 6
Mg	Menos de 15	15 – 25	Mayor de 25
K	Menor de 0,2	0,2 – 0,4	Mayor de 0,4
P (mg/Kg)	Menor de 15	15 – 30	Mayor de 30
S (mg/Kg)	Menor de 5	5 –10	Mayor de 10
Fe (mg/Kg)	Menor de 2,5	2,5 – 5	Mayor de 5
Mn (mg/Kg)	Menor de 0,6	0,6 – 2	Mayor de 2
Cu (mg/Kg)	Menor de 0,6	0,6 – 2	Mayor de 2
Zn (mg/Kg)	Menor de 1,6	1,6 – 4	Mayor de 4

Fuente: adaptado de Arias et al. (2007)

Tabla 2. Propiedades físicas del suelo

INDICADOR	RANGO		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Grado de la estructura	Débil	Moderada	Fuerte
Consistencia de los agregados	Poco consistentes	Consistentes	Muy consistentes
Resistencia del suelo a la penetración	Muy resistente	Resistente	Sin resistencia
Estado de la materia orgánica superficial	Presencia de residuos poco descompuestos	Presencia de residuos parcialmente descompuestos	Presencia de residuos bien descompuestos

RANGO			
INDICADOR	BAJO	MEDIO	ALTO
Velocidad de infiltración	Lenta, 1,5 – 5,0 cm/hora.	Moderada, 5,0 – 15,5 cm/hora	Muy rápida, > 50, 0 cm/hora
Cobertura del suelo	La totalidad del suelo está desnudo durante todo el año	El suelo tiene una cobertura entre el 1 y el 40% de su área, durante por lo menos 6 meses del año.	El suelo tiene una cobertura mayor del 80% de su área, durante más de 10 meses del año.

Fuente: adaptado de Usda (1999), Altieri & Nicholls (2002) y Pérez (2010)

Tabla 3. Propiedades biológicas del suelo

RANGO			
INDICADOR	BAJO	MEDIO	ALTO
Presencia de invertebrados	Sin presencia	Presencia moderada	Alta presencia
Presencia de lombrices	Sin presencia	Presencia moderada	Alta presencia
Actividad microbiana	No hay actividad microbiana	Moderada actividad microbiana	Alta actividad microbiana

Fuente: adaptado de Altieri & Nicholls (2002)

2.1. Arreglos espaciales en los sistemas de producción de la asociación frijol-maíz

Cada parcela estuvo compuesta de la siguiente manera: a) seis surcos de nueve plantas cada uno, para un total de 54 sitios por parcela; b) distancias de siembra entre surcos de 1 metro y 70 centímetros entre plantas;

c) tres repeticiones por cada uno de los tratamientos y d) aplicación de Bocashi a razón de 4 toneladas por hectárea. Los tratamientos se aplicaron de manera consecutiva a cada cultivo.

Los tratamientos evaluados, según validación previa con los agricultores, fueron: **tratamiento 1 (T1)**: frijol y maíz sembrados simultáneamente; **tratamiento 2 (T2)**: frijol en monocultivo orgánico y **tratamiento 3 (T3)**: frijol sembrado 45 días después de sembrar el maíz. Se escogieron estos tratamientos porque son experimentalmente los más adecuados para la zona, ya que presentan condiciones de desarrollo idóneas relacionadas con la adaptabilidad al suelo, clima, manejo de cosecha, entre otros factores.

2.2. Metodología estadística

Se empleó un diseño de clasificación experimental en bloques completamente aleatorizados efecto fijo, balanceado con submuestras. Se evaluaron seis unidades muestrales dentro de cada replicación. Los tratamientos fueron asignados de manera aleatoria con base en una distribución probabilística de tipo uniforme a partir del valor semilla.

Se realizó análisis multidimensional de la varianza (**MANOVA**) con contraste canónico de tipo ortogonal, determinando la vía máxima de verosimilitud y la dimensionalidad del contraste. Con la función canónica generada se realizó el análisis de la varianza para saber si existía o no diferencia entre los tratamientos, teniendo en cuenta todas las variables citadas en la Tabla 4.

El análisis se complementó con la técnica no paramétrica de Spearman con el fin de determinar la matriz de interrelaciones entre las variables para cada tratamiento. Se suplementó con análisis de clúster, componentes principales y estadística descriptiva exploratoria de tipo

unidimensional, cuyo objetivo era determinar la media aritmética, la desviación típica y el coeficiente de variación.

Las variables de tipo discreto cuya distribución probabilística era la de Poisson se transformaron con base en la familia BOX-COX, determinando el valor idóneo mediante la técnica de máxima verosimilitud. Se empleó el paquete estadístico SAS University.

Tabla 4. Definición de las variables

Variable	Naturaleza	Distribución	Medida	Tipo
Tratamiento	Control			Suplementaria
Planta	Control			Suplementaria
Bloque	Control			Suplementaria
Altura 30	Respuesta	Normal	Centímetros	Activa
Altura 60	Respuesta	Normal	Centímetros	Activa
Número de vainas	Respuesta	Poisson	Conteo	Activa
Peso de las vainas	Respuesta	Normal	Gramos	Activa
Largo vaina	Respuesta	Normal	Milímetros	Activa
Ancho vaina	Respuesta	Normal	Milímetros	Activa
Número de fríjoles	Respuesta	Poisson	Conteo	Activa
Peso fríjol	Respuesta	Normal	Gramos	Activa

Fuente: elaboración propia

3. Resultados y discusión

3.1. Evaluación rápida de suelo

En las tablas 5, 6 y 7 se detallan los resultados del índice de calidad de suelo obtenidos en la evaluación rápida realizada con los agricultores y en el laboratorio edafológico de la Universidad Nacional.

Tabla 5. Propiedades químicas del suelo

INDICADOR	VALOR
Textura	Franco-arcillo-arenosa
Materia orgánica	5%
pH	4,9
Al (meq/100 g suelo)	1%
Ca (meq/100 g suelo)	1,9
Mg (meq/100 g suelo)	0,35
K (meq/100 g suelo)	0,16
P (mg/Kg)	15 – 30
S (mg/Kg)	5
Fe (mg/Kg)	2,6
Mn (mg/Kg)	2
Cu (mg/Kg)	1
Zn (mg/Kg)	1

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con lo propuesto por Arias et al. (2007), el frijol requiere suelos profundos y fértiles, con buenas propiedades físicas, de textura franca, con pH entre 5,5 y 6,5 y buen drenaje. En este sentido, los resultados de las propiedades químicas del suelo presentados en la Tabla 5 evidencian que, aunque la textura es ideal para el frijol, los demás indicadores muestran valores muy bajos en los que se requiere una recuperación de nutrientes y del pH. Para mejorar la disponibilidad de los elementos mayores y menores en el suelo y la cantidad de materia orgánica presente, se requiere aplicar materia orgánica.

En la Tabla 6 se puede apreciar un exagerado laboreo efectuado sobre el suelo, encontrando una resistencia a la penetración que afecta el desa-

rollo del cultivo. Adicionalmente se detectó presencia generalizada de residuos parcialmente descompuestos de tamaño medio a fino, sin olor desagradable y una velocidad de infiltración lenta, 1,5 – 5,0 cm/ hora. Según el estudio efectuado por Gliessman (1998), este modelo agrícola afecta negativamente los recursos naturales de los sistemas productivos a través de prácticas como labranza intensiva, métodos de irrigación inadecuados, manipulación genética de los cultivos, entre otros factores.

Tabla 6. Propiedades físicas del suelo

INDICADOR	VALOR	DESCRIPCIÓN
Grado de la estructura	Débil	Agregados o “peds” son apenas reconocibles al observarlos <i>in situ</i> en suelo húmedo. Cuando es removido el suelo, la estructura se quiebra fácilmente y genera pocos agregados o “peds” observables.
Consistencia de los agregados	Poco consistentes	Se rompen fácilmente con la presión hecha con los dedos.
Resistencia del suelo a la penetración	Resistente	Suelo resistente a la penetración o el cultivo tiene baja capacidad de penetración.
Estado de la materia orgánica superficial	Presencia de residuos parcialmente descompuestos	De tamaño medio a fino, sin olor desagradable.
Velocidad de infiltración	Lenta	1,5 – 5,0 cm/ hora.
Cobertura del suelo	El suelo tiene una cobertura entre el 1 al 40% de su área durante por lo menos 6 meses del año.	

Fuente: elaboración propia

En cuanto a la actividad biológica, como puede observarse en la Tabla 7, se encontró presencia muy baja de lombrices, invertebrados y fauna

microbiana. Esto confirma la deficiente calidad del suelo a la que conducen las prácticas de revolución verde que, al no ser adecuadas para el contexto, implican cambios radicales en los sistemas tradicionales de producción que afectaron negativamente la salud, la sanidad y la fertilidad del sistema agrícola.

Tabla 7. Propiedades biológicas del suelo

INDICADOR	VALOR	DESCRIPCIÓN
Presencia de invertebrados	Baja presencia	Se ve muy poca diversidad y número de invertebrados
Presencia de lombrices	Baja presencia	Se ven muy pocas lombrices y túneles
Actividad microbiana	Baja actividad microbiana	

Fuente: elaboración propia

3.2. Evaluación de los tratamientos de asociación frijol-maíz

Al efectuar el análisis descriptivo relacionado con cada uno de los tratamientos (Tabla 8), se destaca que al evaluar el número de vainas existe una diferencia significativa entre el T3 y el T1. El T1 (frijol y maíz sembrados simultáneamente) obtuvo en promedio 8 vainas, el T2 (frijol en monocultivo orgánico) logró 15 vainas en promedio y el T3 (frijol sembrado 45 días después de sembrar el maíz) obtuvo 24 vainas en promedio. Al evaluar el peso de la vaina se observa que el T3 presenta diferencia significativa respecto a los demás tratamientos; sin embargo, en la variable largo de la vaina no se estableció divergencia entre los tratamientos. La variable peso del frijol obtiene los mejores resultados con el T3, con 70 gramos por planta, seguido del tratamiento 2, con 42,3 gramos por planta. En el T1 el resultado del peso muestra que el tamaño fue el me-

nor. Al evaluar el número de frijoles se observa que el T1 obtuvo 29 frijoles, el T2 obtuvo 57 frijoles y el T3 obtuvo un valor de 130 frijoles, por lo que se diferencia significativamente de los demás. Se infiere entonces que el T1 es el tratamiento con menor eficiencia en la producción y el T3 el que tiene mayor eficiencia en la producción de frijol.

Tabla 8. Análisis descriptivo por tratamiento

	Media±Std	Media±Std	Media±Std
Variable	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Altura 30	21,4 ± 2,2 ab	20,4 ± 2,8 b	37,5 ± 9,6 a
Altura 60	51,2 ± 11,5 c	106,8 ± 21,5 b	150,1 ± 17,0 a
Número de vainas	8,0 ± 31 b	15,0 ± 6,4 ab	24,0 ± 7,4 a
Peso de las vainas	23,2 ± 13,2 c	62,3 ± 44,4 b	93,3 ± 37,8 a
Largo vaina	122,3 ± 11,8 a	128,6 ± 14,3 a	140,1 ± 11,4 a
Ancho vaina	12,6 ± 1,5 a	14,4 ± 1,2 a	14,8 ± 1,4 a
Número de frijoles	29 ± 13,7 b	57,0 ± 33,7 b	130,0 ± 41,0 a
Peso frijol	18,2 ± 10,6 c	42,3 ± 31,4 b	70,1 ± 29,1 a

Fuente: elaboración propia

Los resultados presentados en la Tabla 8 confirman lo mencionado por Vázquez (2003), quien sostiene que entre los beneficios de la asociación maíz y frijol está la eficiencia en el uso de la mano de obra, la tierra y los recursos económicos y ambientales (agua, nutrientes y luz). El T3 presentó la mayor heterogeneidad al evaluar la altura de la planta a los 30 días de ser sembrada; sin embargo, al mes siguiente fue el más homogéneo. Se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, el mejor comportamiento en la variable mencionada lo obtuvo el tratamiento en el que se sembró el frijol después de 45 días respecto al maíz y dicho resultado confirma las bondades del policultivo frijol-maíz (Vélez et al., 2007). Para las variables número de vainas, peso de la vaina, número de frijoles y peso del frijol (Rendimiento), el T2 fue el más heterocedástico,

siendo ineficiente en el aprovechamiento del espacio, el agua y el uso de los nutrientes del suelo, al quedar partes del terreno sin vegetación productiva, de acuerdo con lo observado en campo (Tabla 9).

La competencia dada entre dos especies se evidencia en el bajo crecimiento de ambas, como lo mostraron los resultados de la asociación maíz y frijol sembrados simultáneamente. Esto también se evidenció durante el ciclo del cultivo, el registro y el seguimiento, con lo cual se comprueba lo encontrado por Vázquez (2003). En el presente estudio se observó que cuando se realiza una siembra de frijol y maíz simultáneamente o en intervalos muy cortos (Tratamiento 1), se da una competencia por espacio, agua, luz y nutrientes del suelo, lo que se reflejó en los bajos niveles de peso de grano logrados en este tratamiento.

Tabla 9. Coeficiente de variación por tratamiento

	Media±Std	Media±Std	Media±Std
Variable	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Altura 30	10,1	13,5	25,5
Altura 60	22,5	20,1	11,3
Número de vainas	37,9	40,7	31,1
Peso de las vainas	56,9	71,2	40,6
Largo vaina	9,7	11,1	8,1
Ancho vaina	11,6	8,7	9,2
Número de frijoles	47,6	58,8	31,5
Peso frijol	58,1	74,0	41,6

Fuente: elaboración propia

Finalmente, al efectuar el análisis multivariado de la varianza (**MANOVA**), el cual tiene en cuenta todas las variables respuesta en un mismo análisis estadístico, se detectó diferencia altamente significativa en el efecto de los tratamientos ($p < 0,0001$), como se puede apreciar en la Tabla 10.

Tabla 10. Análisis multivariado de la varianza

Prueba estadística	Valor P
Wilks' Lambda	<0,0001
Pillai's Trace	<0,0001
Hotelling-Lawley Trace	<0,0001
Roy's Greatest Root	<0,0001

Fuente: elaboración propia

El análisis canónico efectuado en la dimensión dos que corresponde a un plano, se dio de acuerdo con los resultados derivados de la función de verosimilitud, el cual permitió afirmar que entre todos los tratamientos existe diferencia estadística con base en todo el conjunto de variables evaluadas (Tabla 11).

Tabla 11. Comparación canónica

Dimensionalidad	Valor propio	Valor p
Dimensionalidad 1	1,416	<0,0001
Dimensionalidad 2	0,321	<0,0001
Comparación canónica		
Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
c	b	a

Fuente: elaboración propia

En los resultados logrados con las variables en cada uno de los tratamientos se confirman los aspectos positivos de la asociación frijol-maíz. Además, el maíz brindó soporte al frijol, mientras este último fijaba el nitrógeno al suelo.

En la Tabla 12 se muestra la relación bidimensional entre el conjunto de variables respuesta; allí se destaca el tratamiento 1, en el que se detec-

tó relación directamente proporcional entre la altura alcanzada a los 60 días y el largo de la vaina. El número de vainas se relacionó con el peso y el largo de la vaina. La variable que más se relaciona con las demás fue la longitud de la vaina. Para el tratamiento 2 el ancho de la vaina y la altura alcanzada a los 60 días no se relacionaron con ninguna otra variable de manera significativa ($p>0,05$), de igual forma sucedió para esta última variable en el tratamiento 3.

Tabla 12. Correlación de las variables por tratamiento

Tratamiento 1							
	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
V2							
V3							
V4							
V5							
V6							
V7							
V8							

Tratamiento 2							
	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
V2							
V3							
V4							
V5							
V6							
V7							
V8							

Tratamiento 3							
	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
V2							
V3							
V4							
V5							
V6							
V7							
V8							

Las celdillas pigmentadas con negro indican relación significativa y directamente proporcional entre las variables ($p < 0,05$). V2= altura 60 días, V3= número de vainas, V4= peso de la vaina, V5= largo vaina, V6= ancho de la vaina, V7= número fríjol, V8= peso fríjol.

Fuente: elaboración propia

El análisis de componentes principales permitió ratificar la disparidad entre los tratamientos al suplementarlos sobre las variables respuesta activas, como se aprecia en la Figura 1. En el mismo plano se evidencia una relación más fuerte entre el ancho de la vaina y la longitud alcanzada por ella; de igual forma, se ve que la altura de la planta no tiene una interacción marcada con ninguna otra variable. Por otro lado, el número de fríjoles y su peso se relaciona más con el peso de la vaina.

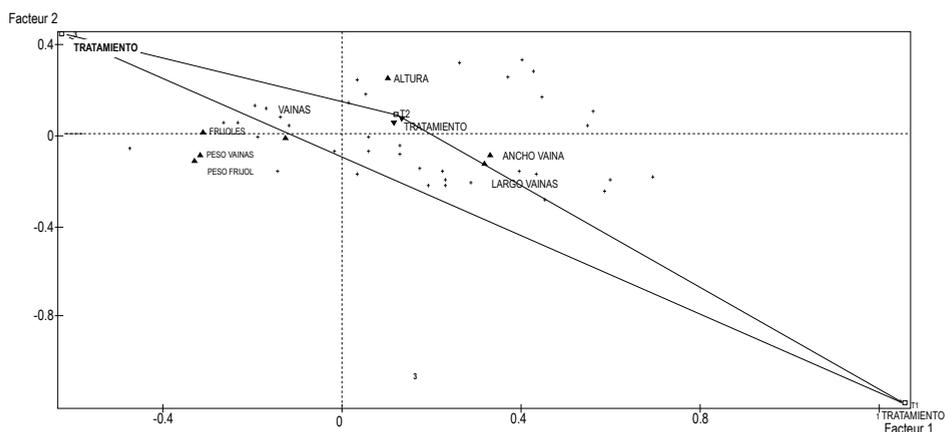


Figura 1. Plano factorial derivado del análisis de componentes principales

Fuente: elaboración propia

En la Figura 2 se observa que existe asimetría en la distribución de las plantas proyectadas sobre los ejes factoriales, se ve una aleatoriedad en la dinámica de comportamiento sobre cada factor. También se evidenció en los resultados el principio de convivencia entre especies en un sistema de cultivo intercalado, donde la separación espacial de especies y la diferencia en tiempos de siembra promueven una reducción en la competencia y genera eficiencia en rendimiento y uso de recursos.

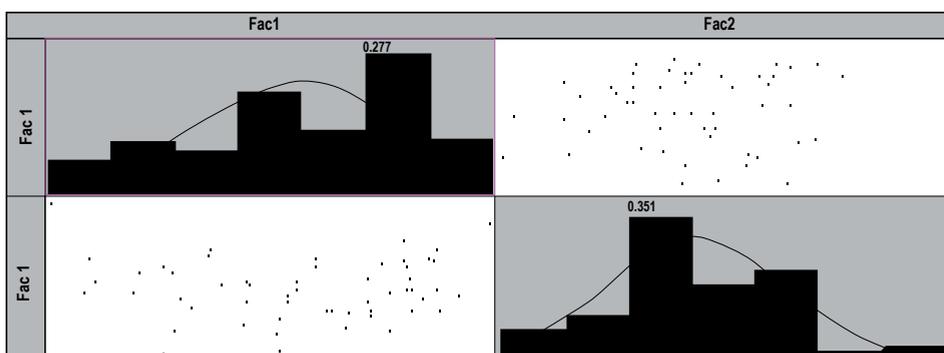


Figura 2. Distribución espacial de las submuestras sobre los factores
Fuente: elaboración propia

4. Conclusiones

En el desarrollo del cultivo se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos respecto a las variables: altura de planta, número de vainas, peso de vainas y rendimiento. Los mejores resultados se obtuvieron en el tratamiento de asociación (T3: siembra de maíz 45 días antes de la siembra del frijol), lo que mostró los beneficios de la interacción entre frijol y maíz, con la consecuente obtención de mejores resultados.

Cuando se realiza una siembra de frijol y maíz simultáneamente o en intervalos muy cortos, se da una competencia por espacio, agua, luz y

nutrientes del suelo, lo que se reflejó en los bajos niveles de peso de grano logrados en este tratamiento.

Con el tratamiento 2 (fríjol en monocultivo orgánico) se evidenció cómo el monocultivo es ineficiente en el aprovechamiento del espacio, el agua y los nutrientes del suelo en el agrosistema, al quedar partes del terreno sin vegetación productiva.

La participación de los campesinos en el proceso investigativo fue fundamental, debido a la interacción de conocimientos compartidos relacionados al cultivo del frijol, lo que permitió avanzar de manera significativa en pos de lograr los objetivos trazados.

Referencias bibliográficas

- Altieri, M. A. (2002). *Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*. Buenos Aires–La Plata, 49-56.
- Altieri, M. & Nicholls, C. I. (2002). Sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos en el agroecosistema de café. (en línea). Manejo integrado de plagas y agroecología. CR. (64), 17-24.
- Altieri, M. A. & Nicholls, C. I. (2007). Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *Revista Ecosistemas*, 16 (1).
- Arias, J. H., Jaramillo, M. & Rengifo, T. (2007). Manual Buenas Prácticas Agrícolas en la producción de frijol voluble. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA-Centro de Investigación La Selva, convenio FAO-MANA. Medellín-Colombia*.
- Fenalce (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas). (2015). Situación actual y perspectivas del cultivo de frijol. Departamento de Información Económica y Estadística. Área, Producción y Rendimiento. Bogotá Colombia.
- Fira. (2015). Panorama agroalimentario. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial. México.

- Gliessman, S. R. (1998). Agroecology: Ecological processes in sustainable agriculture. En: *Agroecology: Ecological processes in sustainable agriculture*. Ann Arbor Press.
- Gómez, L.E. & Agudelo, S.C. (2006). Cartilla para Educación Agroecológica. Corantioquia.
- Gutiérrez-Martínez, A., Aguilar-Jiménez, C. E., Galdamez-Galdamez, J., Mendoza-Pérez, S. & Martínez-Aguilar, F. B. (2007). Impacto socioeconómico de los sistemas de cultivos maíz-frijol-calabaza en la Frailesca. Chiapas, México. I Seminario de Cooperación y Desarrollo en Espacios Rurales Iberoamericanos Sostenibles e Indicadores. Almería, España.
- León-Sicard, T. (2009). Agroecología: Desafíos de una Ciencia Ambiental en Construcción (Capítulo 2). *Vertientes del Pensamiento Agroecológico: Fundamentos y Aplicaciones*. SOCLA. pp. 44-67.
- Montoya-Estrada, C. N. & Castaño Zapata, J. (2009). Microorganismos asociados con granos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), variedad cargamanto blanco. *Agronomía (Manizales)*, 17(2), 25-35.
- Navarrete, C. L. (2017). *El enfoque agroecológico: Una alternativa al Modelo Agroindustrial*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Rosario Facultad de Ciencia Política y Relaciones Internacionales..
- Oliveira, E., Andrade, F. V., Mello, J. C., Machado, T. B. & Pereira, C. R. (2014). Efficiency assessment for a group of agroecological family farmers using data envelopment analysis. *Horticultura Brasileira*, 32(3), 336-342.
- Ospina, C. E., Martínez, J. C., Contreras, K. & Tautiva, L.A. (2020). Análisis socioeconómico del cultivo de frijón en Cundinamarca (Colombia), para la identificación de un Sistema Agroalimentario Localizado (SIAL). *Rivar*, 7(21).
- Pérez, M. (2010). Guía metodológica al sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos. Corporación Ambiente Empresarial. Bogotá D. C, Colombia.
- Rivero, M., Plaza, P.M., Gaibor, R.R., Mozena, W. & De Brito, E.P. (2016). Abonos verdes y su influencia en el crecimiento y rendimiento del frijón (*Phaseolus vulgaris* L.), en condiciones agroecológicas. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 1. 73(1), 59-64.

- Samayoa F., Naranjo L., Brenes L., Arce J. (2003). Taller Agricultura Orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza Del 19 al 21 de mayo de 2003 Turrialba, Costa Rica.
- Sitio web Carmen de Viboral. (2015). Nuestro municipio. http://elcarmendeviboral-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml
- Torres, P. A. (2019). *Elaboración de una propuesta de un sistema agroecológico de producción de arveja para aportar a la conservación de los recursos naturales y a la seguridad alimentaria. estudio de caso, finca casa blanca ubicada en el municipio de subachoque – Cundinamarca*. [Tesis de grado]. Universidad El Bosque, Facultad de Ingeniería Programa Ingeniería Ambiental Bogotá,.
- Usda. (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. *National Soil survey, Center Natural resources Conservation Service*. USA
- Vargas, L.A. (2014) Maize, A Traveller Without Luggage. In: *Anales de Antropología* 48 (1), January. 123-137p.
- Vázquez L. (2003). *Manejo Integrado de plagas. Preguntas y respuestas para técnicos y agricultores*. Plaza de la Revolución, Cuba: Agencia de Información y Comunicación para la Agricultura (Agrinfor).
- Vélez Vargas, L. D., Clavijo Porras, J., & Ligarreto Moreno, G. A. (2007). Análisis ecofisiológico del cultivo asociado maíz (*Zea mays L.*)-frijol voluble (*Phaseolus vulgaris L.*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 60(2)