

Influencia de diferentes sistemas agroecológicos en los indicadores químicos de un suelo cultivado de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Influence of different agroecological systems on the chemical indicators of a cultivated soil of beans (*Phaseolus vulgaris* L.)

Marisol Rivero-Herrada^{1‡} , Eduardo Gutiérrez-Rivero² ,
Yanila Esther Granados-Rivas¹  y Cesar Cristóbal Varas-Maenza¹ 

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ). Campus Ing. Manuel Agustín Haz Álvarez. Ave. Quito km 1.5 vía a Santo Domingo de los Tsáchilas. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

[‡] Autora para correspondencia (mrivero@uteq.edu.ec)

² Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. (CITMA). Carretera Central vía Santiago de Cuba, km 3.5. Bayamo, Granma, Cuba.

RESUMEN

El sistema agroecológico tiene repercusión importante en el estado nutricional del suelo, que depende de su preparación y plantas que se cultivan. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la influencia de diferentes sistemas agroecológicos en los indicadores químicos de un suelo cultivado de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar, ocho tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron plantas de cobertura: frijol de puerco (*Canavalia ensiformis*, Adans.), mucuna (*Mucuna pruriens*), frijol gandul (*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.), crotalaria (*Crotalaria* sp. L.) sembradas en dos sistemas de cultivos: monocultivo y asociadas con mijo (*Pennisetum glaucum* L.) y dos sistemas de sistema de preparación del suelo: convencional y siembra directa. Los indicadores químicos evaluados fueron: pH, materia orgánica, macro y micros nutrientes (P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn) y el rendimiento en el cultivo del frijol. El sistema de siembra directa tuvo influencia sobre los indicadores químicos del suelo, disminuyó el pH (5.26), altos contenidos de Ca y K, con valores de 1.64 y 73.21 mg kg⁻¹ respectivamente, con respecto al sistema convencional. Los micronutrientes Cu y Zn tuvieron valores significativos de 0.97 y 1.38 mg kg⁻¹ respectivamente, con respecto al sistema convencional. Los contenidos de Mg y K alcanzaron valores muy

cercanos a los del suelo natural. En el rendimiento del cultivo del frijol se destacó el cultivo frijol de puerco con el mayor número de vainas por planta (14.25), granos por vainas (5.93) y granos por planta (84) y un rendimiento de 4.4 Mg ha⁻¹.

Palabras clave: fertilidad del suelo, leguminosas, sistema.

SUMMARY

The agroecological system has an important impact on the nutritional status of the soil, which depends on its preparation and the plants that are grown. The aim of this work was to evaluate the influence of different agroecological systems on the chemical indicators of a soil cultivated with beans (*Phaseolus vulgaris* L.). An experimental design of randomized blocks, eight treatments and four replicates, was used. The treatments were cover plants: jack bean (*Canavalia ensiformis*, Adans.), velvet bean (*Mucuna pruriens*), pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.), and crotalaria (*Crotalaria* sp. L.) planted in two cultivation systems: monoculture and associated with millet (*Pennisetum glaucum* L.), and two systems of soil preparation: conventional and direct seeding. The chemical indicators evaluated were: pH, organic matter, macro and micro nutrients (P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, and Zn) and the yield in the bean crop. The direct sowing system

Cita recomendada:

Rivero-Herrada, M., E. Gutiérrez-Rivero, Y. E. Granados-Rivas y C. C. Varas-Maenza. 2020. Influencia de diferentes sistemas agroecológicos en los indicadores químicos de un suelo cultivado de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Terra Latinoamericana 38: 735-743.
DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.558>

Recibido: 18 de mayo de 2019.

Aceptado: 29 de julio de 2020.

Publicado en Terra Latinoamericana 38: 735-743.

had influence on the chemical indicators of the soil, decreased pH (5.26), high contents of Ca and K, with values of 1.64 and 73.21 mg kg⁻¹ respectively, with regard to the conventional system. Micronutrients Cu and Zn had significant values of 0.97 and 1.38 mg kg⁻¹ respectively, with regard to the conventional system. Mg and K contents reached values very close to those of natural soil. In bean crop yield, the jack bean crop was highlighted with the highest number of pods per plant (14.25), grains per pods (5.93), grains per plant (84) and a yield of 4.4 Mg ha⁻¹.

Index words: soil fertility, legumes, management system.

INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa de granos más importante para el consumo humano en el mundo. En términos nutricionales, estos granos son una gran fuente de proteína, ricos en minerales (especialmente hierro y zinc) y vitaminas (García *et al.*, 2012). Durante la década actual, la cosecha mundial de frijol reporta una ligera tendencia al alza, impulsada por aumentos en la superficie cosechada y en los rendimientos por unidad de superficie. Myanmar, India, Brasil, México, Tanzania, Estados Unidos y China son los principales productores de frijol, y en conjunto aportan 64.8 por ciento de la oferta global, su comercio en el mercado internacional es reducido en comparación con otros productos agrícolas, y como proporción del consumo global de esta leguminosa, debido a que en general los principales países productores son también los consumidores más importantes (FIRA, 2016). Su consumo está en el hábito alimenticio de gran parte de los brasileños, la producción media nacional de la leguminosa en Brasil es de 3.15 millones de toneladas en los últimos 20 años (CONAB, 2019).

El suelo es un recurso natural que a lo largo de la historia ha proporcionado el sustento para la población humana; sin embargo, la creciente población mundial y su demanda de alimentos aumentan cada día más la presión sobre este recurso. En las zonas tropicales del mundo se buscan alternativas para conservar los suelos, pues se ha confirmado que no es el clima cálido lo que impide una producción adecuada de la tierra, sino el sistema inapropiado de aprovechamiento de éstos (Sánchez *et al.*, 2011). En respuesta a la utilización inadecuada de los fertilizantes químicos, los problemas

edáficos, sociales y ambientales que causan, se estimula cada vez más, la implementación de prácticas agrícolas más sostenibles (Calero *et al.*, 2019).

Según Prager *et al.* (2012) las plantas que se pueden utilizar como cobertura del suelo pueden ser otras especies diferentes a las leguminosas como, por ejemplo, las gramíneas y las mismas arvenses acompañantes del cultivo. Estas plantas cuando son cosechadas en etapa de pre-floración o floración, hacen un aporte de materia orgánica con una relación C/N media a baja (10 a 20), que las convierte en biomasa fácil de degradar por los organismos del suelo, lo cual asegura disponibilidad temprana de nutrientes al cultivo establecido en asociación o rotación, además de aportar al suelo biomoléculas con efectos promotores de crecimiento, dado el estado fenológico en el cual se cortan.

En muchos países de América Latina los productores del cultivo de frijol, siguen aferrándose a los sistemas tradicionales de producción; sin embargo, se ha demostrado que el sistema de labranza mínima y de siembra directa, contribuyen significativamente a la conservación del suelo y provocan un buen desarrollo del cultivo del frijol. Se destaca la siembra directa que crea diferentes ambientes con respecto a la preparación del suelo convencional, debido a los efectos de los residuos vegetales en la superficie del suelo y del reducido movimiento del suelo (Basso *et al.*, 2011).

La labranza convencional modifica la estructura de la capa superficial del suelo, el espacio poroso y, reduce el contenido agua en el suelo, siendo este un factor fundamental en el desarrollo y crecimiento de los cultivos (Olguín *et al.*, 2017). El uso sistemático de los arados, las gradas de discos y el monocultivo provoca un rápido deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, dejándolo sin cobertura vegetal por largos períodos de tiempo, quedando muy vulnerable a la acción erosiva de algunos factores naturales como son las lluvias y el viento (Renté *et al.*, 2018). Todo esto se traduce en disminución del rendimiento de los cultivos como consecuencia al escaso desarrollo y crecimiento de las plantas (Jaurixje *et al.*, 2013).

Es conocido que el uso de estas plantas de cobertura del suelo en siembra directa, son esenciales para el éxito de la producción de frijol como un sistema agroecológico, la hipótesis a constatar, es que el sistema agroecológico del suelo con plantas de cobertura de leguminosas asociadas con una gramíneas en siembra

directa, puede estimular y aumentar la producción de frijol en contraste con el sistema de suelo convencional donde se incorporan las plantas de cobertura.

Sin embargo, la adopción de estos sistemas agroecológicos para el cultivo del frijol no ha tenido la debida atención por parte de los productores, pues siguen aferrándose a los sistemas tradicionales de producción. En este sentido, Brasil tiene avanzada experiencia en la implementación de los sistemas agroecológicos que incluyen las plantas de cobertura y siembra directa, pero específicamente en el estado de Goiás en la región Centro Oeste, hay necesidad de conocer con mayor exactitud cuáles son los que más tributan al suministro de nutrientes al suelo. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de diferentes sistemas agroecológicos en los indicadores químicos de un suelo, cultivado con frijol.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue realizada en la Estación Experimental Agroecológica de la Empresa Brasileira de Investigações Agropecuarias, EMBRAPA Arroz y Frijol localizada en el municipio, Santo Antonio de Goiás, Brasil. El área experimental está ubicada a 16° 28' S y 49° 17' O, a 823 m de altitud. El clima es de sabana tropical, con período lluvioso de octubre a abril y seco de mayo a septiembre, la precipitación media anual varía de 1024.0 a 1891.9 mm (Silva *et al.*, 2010).

Se utilizó un suelo Latosol rojo-amarillento (Santos *et al.*, 2018), de relieve moderadamente plano a levemente ondulado. Las características químicas del suelo están representadas en el Cuadro 1.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar, con tres factores en estudio; plantas de cobertura (monocultivo y asociadas) y dos sistemas del suelo; convencional y siembra directa, con cuatro repeticiones.

Cuadro 1. Características químicas del suelo antes del sistema agroecológico con las plantas de cobertura.

Table 1. Chemical characteristics of the soil before agroecological system with the cover plants.

Profundidad	MO	pH	P	K	Ca	Mg
m	%	CaCl ₂	- - - -	mg kg ⁻¹	- - - -	- - - -
0-00-0.20	1.4	5.2	13	55	1.5	0.6

MO = materia orgánica (EMBRAPA, 1997).

MO = organic matter (EMBRAPA, 1997).

Los tratamientos se constituyeron por cuatro especies de leguminosas: frijol de puerco (*Canavalia ensiformis*, Adans.), mucuna (*Mucuna pruriens*), frijol gandul (*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.) y crotalaria (*Crotalaria* sp. L.), sembradas en monocultivo y asociadas con mijo (*Pennisetum glaucum* L.) y dos sistemas de preparación del suelo: sistema convencional con plantas de cobertura incorporadas al suelo (SC) y sistema de siembra directa con plantas de cobertura, dejadas en la superficie (SD).

Las parcelas experimentales tuvieron un área de 22.5 m², constituidas de nueve líneas del cultivo con espacio de 0.45 m entre líneas y longitud de 5 m. Se sembraron todos los cultivos de plantas de cobertura en época de verano y se cortaron a 60 días después de la siembra. Las parcelas experimentales, cultivadas con las plantas de cobertura, se dividieron en dos subparcelas, en una se realizó la labranza del suelo convencional incorporando los abonos verdes al suelo (SC), y en la otra subparcela se dejaron las plantas de cobertura en la superficie del suelo, para la siembra directa (SD). Pasados 30 días se sembró en todas las parcelas el frijol común en sucesión, cultivar BRS Pontal a una distancia de 0.45 m entre las líneas, con diez semillas por metro lineal. La cosecha del frijol se realizó a los 90 días después de la siembra.

Variables Evaluadas

Indicadores químicos del suelo: pH (CaCl₂); materia orgánica (MO); P, Ca, Mg, K, Cu, Zn, Mn, fueron evaluados a 25 días después de la siembra del frijol común, a partir de la toma de muestras del suelo en la profundidad de 0.00 a 0.20 m. De cada parcela se tomaron 10 sub-muestras conformando muestras compuestas para cada tratamiento. También fue muestreado suelo de vegetación original (suelo natural) utilizado como control. Los análisis químicos de laboratorio fueron realizados de acuerdo con la metodología de Embrapa (1997) e interpretados por los niveles críticos o franjas de concentración según criterios propuestos por Sousa y Lobato (2004).

Para el cultivo del frijol se evaluó el rendimiento en Mg ha⁻¹, cuando los granos tuvieron 13% de humedad, se tomaron todas las plantas de área útil por parcela, para cada tratamiento, con base al marco de siembra utilizado de 0.45 × 0.10 m y densidad de población de 222 222 plantas por hectárea.

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza, para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey a 5% de probabilidad ($P < 0.05$). El programa estadístico usado fue Statistica v. 10.0 para Windows (StatSoft, Inc., 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se observa que solo los sistemas de suelo mostraron diferencias significativas en los indicadores químicos: pH y contenidos de Ca y Mg; se obtuvieron los mayores valores para estos indicadores químicos del suelo en siembra directa (SD) con 5.26 de pH, el suelo se mantuvo ligeramente ácido, los contenidos de Ca y Mg fueron de 1.64 y 0.56 mg kg⁻¹, respectivamente. El suelo fue menos ácido en el sistema agroecológico con siembra directa (pH 5.26), que en el suelo natural (pH 4.5).

Respecto al contenido de Ca y Mg, en el tratamiento con siembra directa, se mostraron numéricamente por debajo de los valores de Ca y Mg del suelo natural. Andreola *et al.* (2000) y Almeida *et al.* (2008) no encontraron diferencias significativas en los contenidos Ca y Mg, entre los sistemas del suelo, labranza convencional y siembra directa.

En general para pH, Ca y Mg los resultados obtenidos fueron similares al del suelo antes del estudio e inferior respecto al suelo natural. No hubo acidificación pronunciada del suelo, siendo el pH igual

Cuadro 2. Indicadores químicos del suelo en frijol común en sistema agroecológico.

Table 2. Chemical indicators of the soil in common beans in an agroecological system.

Tratamiento	MO	pH	P	Ca	Mg
	%	CaCl ₂	- - - -	mg kg ⁻¹	- - - -
SC	0.99a [†]	5.09b	1.42a	1.28b	0.48b
SD	1.18a	5.26a	2.14a	1.64a	0.56a
CV (%)	24.2	2.6	24.8	20.3	15.1
Suelo natural	1.40	4.50	1.00	2.50	0.70

[†] Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$). MO = materia orgánica; SC = sistema convencional; SD = siembra directa.

[†] Different letters in the same column indicate significant differences, according to the Tukey's test ($P < 0.05$). MO = organic matter; SC = conventional system; SD = direct seeding.

a las condiciones de antes del estudio, lo que puede deberse al efecto del uso de las plantas de cobertura durante el sistema agroecológico. Cunha *et al.* (2011) también mostraron que las plantas de cobertura no difieren entre ellas, en cuanto a sus efectos en los indicadores químicos del suelo, sea bajo preparación convencional o siembra directa, con el mayor valor de pH (5.26), para el sistema convencional.

Según Almeida *et al.* (2008), evaluando después de tres años de implantación de la siembra directa y, comparando con la preparación convencional del suelo; no encontraron efecto significativo de los cultivos de plantas de cobertura/abonos verdes como frijol gandul, crotalaria, mucuna-negra, mijo y barbecho en el pH del suelo. Los efectos proporcionados por los residuos orgánicos de las plantas de cobertura sobre la química del suelo, pueden mitigar los efectos acidificantes causados por los grupos carboxílicos y fenólicos generados durante la descomposición de residuos vegetales por la reacción de los fertilizantes y por la exportación de bases para las cosechas.

En relación al contenido de fósforo (P) osciló entre 1.42 y 2.14 mg kg⁻¹ (Cuadro 2) sin diferencias significativas entre los sistemas de suelo convencional y siembra directa, según Sousa y Lobato (2004) considerando los valores de P menores de 5 mg kg⁻¹ en el suelo están en la clase baja. El contenido de fósforo en el suelo natural se mantuvo por debajo, con un valor de 1 mg kg⁻¹, en relación al suelo manejado con las plantas de cobertura en producción agroecológica.

A pesar de no encontrarse diferencias significativas entre los diferentes sistemas agroecológicos del suelo, este nutriente incrementó su contenido en el suelo, esto pudo ser por el efecto del uso de las plantas de cobertura por más de tres años consecutivos en el área del experimento, por su transición de área de producción tradicional a área de producción agroecológica.

Nogueira *et al.* (2005) alcanzaron valores superiores a los presentados en este trabajo con relación al contenido de P, cuando usaron la crotalaria como planta de cobertura en el sistema de siembra directa. Andreola *et al.* (2000) mostraron aumento del contenido del fósforo en la capa superficial, con valor de 0.72 mg kg⁻¹ superior para el sistema de siembra directa cuando fue comparado con el convencional.

De acuerdo con De María *et al.* (1999), el aumento del fósforo es derivado de la poca movilidad de ese nutriente en el suelo, con la reducción de su fijación,

a razón de su menor contacto con los constituyentes inorgánicos del suelo; ello debido a la no incorporación de los residuos, al aumento de la actividad microbiana y contenido del fósforo orgánico.

Es normal observar el aumento en la disponibilidad del fósforo en suelos con residuos vegetales, tanto por el fósforo presente en ellos, como por la competencia de los compuestos orgánicos de los residuos por los sitios de cambios en el suelo (Pavinato y Rosolem, 2008). Por su parte, Wutke *et al.* (2000), evaluando la rotación de la planta de frijol con maíz y plantas de cobertura, no observaron diferencias significativas entre la crotalaria, mucuna y frijol gandul en cuanto a los tenores del fósforo y potasio. Moreti *et al.* (2007) verificaron que la crotalaria y el mijo no alteraron los indicadores químicos del suelo, dejando los residuos de las plantas de abono verde en la superficie del suelo para la siembra directa y también, en la incorporación al suelo para la preparación convencional.

A pesar de las diferencias, al comparar los valores de los macro y micronutrientes con el criterio de interpretación propuestos por Sousa y Lobato (2004), se verificó que las cantidades de Ca, Mg, P, y K están en los niveles apropiados para las exigencias del cultivo del frijol común, en tal sentido los sistemas de suelo en producción agroecológica sí provocaron alteraciones en los indicadores químicos del suelo, en relación a las condiciones del suelo antes del sistema. Este resultado coincide con Cunha *et al.* (2011; 2012), quienes encontraron diferencias estadísticas de los indicadores químicos del suelo manejado con plantas de cobertura/abonos verdes, siembra directa y el suelo natural no perturbado.

Según Gazola *et al.* (2017) en estudios sobre la variabilidad espacial de las concentraciones de nutrientes foliares de la soya correlacionadas con atributos químicos de un suelo Latosol Rojo con siembra directa, el contenido de magnesio de la capa de 0.01 - 0.20 m fue el indicador químico dependiente que presentó el mayor alcance (77.4 m).

Los contenidos de potasio (K), cobre (Cu) y zinc (Zn) mostraron diferencias significativas entre los sistemas de suelo; siembra directa y convencional, con valores de K (73.21); Cu (0.97); Zn (1.37) mg kg⁻¹ de suelo en la siembra directa (SD) y valores de K (69.62), Cu (0.70) y Zn (1.17) mg kg⁻¹ de suelo con el sistema convencional, donde los contenidos de estos nutrientes estuvieron por debajo de la siembra directa, como se observa en el Cuadro 3.

Almeida *et al.* (2008) después de tres años de implantación de la siembra directa y la preparación convencional del suelo, no verificaron efectos significativos de las plantas cobertura, frijol gandul, crotalaria, mucuna-negra, mijo y del barbecho en pH, acidez potencial y materia orgánica en el suelo. Correia y Durigan (2008) después de dos años de siembra directa, comparando varias especies de gramíneas como plantas de cobertura y la vegetación espontánea, observaron que esta última proporcionó los mayores valores de pH, calcio y magnesio intercambiable, y con las plantas de cobertura, mayor concentración del fósforo y materia orgánica en el suelo.

Según Sousa Neto *et al.* (2008) las plantas de cobertura, sobre todo leguminosas asociadas con gramíneas, pueden minimizar los efectos negativos de la degradación del suelo por medio de la mejoría en la agregación y la estructura debido, principalmente, a la acción mecánica de las raíces o por la excreción de sustancias con acción cementante e indirectamente, por el suministro de nutrientes a la fauna del suelo y de la adición de restos de cultivos. En diversos estudios con gramíneas usadas como plantas de cobertura, Braz *et al.* (2004) observaron que, entre los macronutrientes las mayores acumulaciones fueron de nitrógeno y potasio, siendo el fósforo el nutriente de menos acumulación. En general, se observaron valores positivos de los indicadores químicos del suelo bajo el cultivo de gramíneas, con respecto al cultivo de leguminosas (Silveira *et al.*, 2010).

Cuadro 3. Indicadores químicos del suelo en el frijol común en sistema agroecológico.

Table 3. Soil chemical indicators in the common bean in an agro-ecological system.

Tratamiento	Sistema de preparación del suelo				
	K	Cu	Zn	Fe	Mn
	- - - - - mg kg ⁻¹ - - - - -				
SC	69.62b [†]	0.70b	1.17b	17.25a	11.80a
SD	73.21a	0.97a	1.38a	21.57a	12.26a
CV (%)	10.11	28.1	25.28	23.82	19.26
Suelo natural	74.30	-	-	-	-

[†] Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$). SC = siembra convencional; SD = siembra directa.

[†] Different letters in the same column indicate significant differences, according to the Tukey's test ($P < 0.05$). SC = conventional system; SD = direct seeding.

En el Cuadro 4 se muestran diferencias significativas para las leguminosas evaluadas como plantas de coberturas, en los sistemas de cultivo de plantas de cobertura: monocultivo y asociadas con mijo, y para los sistemas de suelo: convencional y siembra directa. Se observa diferencias significativas para algunas variables componentes del rendimiento para todas las leguminosas, los sistemas de cultivos y para los sistemas de suelo, mientras que para el rendimiento no se encontraron diferencias estadísticas.

En relación a las leguminosas, el frijol de puerco presentó el mayor número de vainas por planta (14.25), mayor número de granos por vainas (5.87) y de granos por planta (84). Los sistemas de cultivo (monocultivo y asociadas con mijo) se observaron diferencias significativas en el número de vainas por plantas, donde las asociadas con mijo tuvieron mayor valor (12.75 vainas por planta) con respecto al monocultivo (11.78 vainas por planta).

Respecto al tipo de sistema del suelo convencional o siembra directa, se observaron diferencias significativas para las variables número vainas por planta y el número de granos por planta, encontrando mayores los valores con 13 vainas por planta y

72.62 granos por planta, respectivamente con el sistema de siembra directa. El rendimiento en grano observado fue de 3.3 a 4.4 Mg ha⁻¹. El rendimiento, a pesar de no mostrar diferencias significativas, fue alto para todos los tratamientos evaluados, con respecto a la media nacional de la región y de Brasil (1 Mg ha⁻¹) para el cultivo del frijol (FIRA, 2016), por lo que se puede considerar que las plantas de cobertura utilizadas en los sistemas agroecológicos evaluados, proporcionaron los nutrientes necesarios para el buen desarrollo del cultivo de las plantas de frijol.

Almeida *et al.* (2008) no observaron diferencias en el rendimiento de planta de frijol cultivado después del gandul, crotalaria y mucuna, en siembra directa y en preparación convencional, también en un suelo latosol rojo amarillento de la región centro oeste de Goiás. En trabajo realizado por Cunha *et al.* (2011), en la región centro oeste de Goiás, Brasil, el rendimiento agrícola de granos del frijol no fue alterado por los cultivos de plantas de cobertura en los dos sistemas de suelo: siembra directa y convencional, durante dos años de cultivo en la producción orgánica de frijol.

Por su parte Ferreira *et al.* (2011) no observaron efecto de la crotalaria y sorgo en el rendimiento

Cuadro 4. Rendimiento del frijol en sistema agroecológico.
Table 4. Bean yield in an agroecological system.

Tratamiento	Plantas de cobertura			
	Vainas/planta	Granos/vainas	Granos/planta	Rendimiento agrícola Mg ha ⁻¹
Frijol de puerco	14.25a [†]	5.93a	84.00a	4.41a
Crotalaria	12.00b	5.62ab	64.37b	3.46a
Mucuna	11.43b	5.50b	63.62b	3.30a
Frijol gandul	11.37b	5.87ab	70.68b	3.45a
	Sistema de cultivo			
Asociadas con mijo	12.75a	5.78a	74.25a	3.83a
Monocultivo	11.78b	5.68a	67.09a	3.48a
	Sistema de preparación del suelo			
SC	11.53b	5.81a	65.71b	3.36a
SD	13.00a	5.61a	72.62a	3.95a
CV (%)	14.83	7.09	16.37	16.20

[†] Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según prueba de Tukey ($P < 0.05$). SC = siembra convencional; SD = siembra directa.

[†] Different letters in the same column indicate significant differences, according to Tukey's test ($P < 0.05$). SC = conventional seeding; SD = direct seeding.

de la planta del frijol; sin embargo, obtuvieron un rendimiento 33% superior en el sistema de siembra directa que en el sistema convencional. Para las plantas de cobertura gandul, crotalaria, mucuna y mijo, no fueron observadas diferencias significativas en el rendimiento del frijol cultivado en suelo con estas plantas de cobertura (Almeida *et al.*, 2008).

Según Olivet *et al.* (2019) el sistema de labranza mínima en Cuba, contribuye significativamente a la conservación del suelo, y provoca un buen desarrollo del cultivo del frijol, mayor cantidad de legumbres por metro lineal y rendimiento agrícola con 0.97 Mg ha⁻¹.

Por lo anterior, se considera que las plantas de cobertura son cada día más usadas en los sistemas agroecológicos de producción, como alternativa en el incremento y conservación de la fertilidad de los suelos, sobre todo en las condiciones climáticas de los trópicos. Estas prácticas se han mostrado eficientes en la sustitución de fertilizantes nitrogenados y en el incremento de los rendimientos de los cultivos.

CONCLUSIONES

El sistema de siembra directa tuvo influencia sobre los indicadores químicos del suelo con respecto al sistema convencional, pH (5.26), altos contenidos de Ca, Mg, K, con valores de 1.64, 0.56 y 73.21 mg kg⁻¹ respectivamente. Los micronutrientes Cu y Zn tuvieron valores significativos de 0.97 y 1.38 mg kg⁻¹ respectivamente, con respecto al sistema convencional. En el rendimiento se destacó el cultivo del frijol de puerco con el mayor número de vainas por planta (14.25), granos por vainas (5.93) y granos por planta (84) y mayor valor del rendimiento 4.4 Mg ha⁻¹.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia, en esta sección.

FONDOS

Beca doctoral. CAPES. PEC-PG – Edital 048/2010.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

La contribución estuvo a cargo de todos los autores de la manera siguiente, la conceptualización: Marisol Rivero Herrada y Eduardo Gutiérrez Rivero. Metodología: Marisol Rivero Herrada y Eduardo Gutiérrez Rivero. Software: Marisol Rivero Herrada y Eduardo Gutiérrez Rivero. Validación: Marisol Rivero-Herrada, Eduardo Gutiérrez Rivero, Yanila Esther Granados Rivas y Cesar Cristóbal Varas Maenza. Análisis formal: Marisol Rivero Herrada, Eduardo Gutiérrez-Rivero, Yanila Esther Granados Rivas y Cesar Cristóbal Varas Maenza.; investigación, Marisol Rivero Herrada y Eduardo Gutiérrez Rivero, Yanila Esther Granados Rivas y Cesar Cristóbal Varas Maenza. Recursos: Marisol Rivero Herrada. Curación de datos: Marisol Rivero Herrada y Eduardo Gutiérrez Rivero. Escritura, preparación del borrador original: Marisol Rivero Herrada, Eduardo Gutiérrez Rivero, Yanila Esther Granados Rivas y Cesar Cristóbal Varas Maenza. Escritura, revisión y edición: Marisol Rivero Herrada, Eduardo Gutiérrez Rivero, Yanila Esther Granados Rivas y Cesar Cristóbal Varas Maenza. Visualización: Marisol Rivero Herrada, Eduardo Gutiérrez Rivero, Yanila Esther Granados Rivas y Cesar Cristóbal Varas Maenza. Supervisión: Marisol Rivero Herrada. Administración del proyecto: Marisol Rivero Herrada. Adquisición de fondos: Marisol Rivero Herrada.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a CAPES. PEC-PG – Edital 048/2010. Programa de Pos-graduación en Agronomía de la Universidad Federal de Goiás, como requisito parcial a la obtención del título de Doctor (a) en Agronomía, área de concentración: Producción Vegetal. También se agradece la valiosa colaboración de los Orientadores Dr. Wilson Mozena Leandro de la UFG (Universidad Federal de Goiás) y Dr. Enderson Petronio da Silva Ferreira de Embrapa Arroz y frijol de Goiás. Brasil.

LITERATURA CITADA

- Almeida, V. P., M. C. Alves, E. C. Silva e S. A. Oliveira. 2008. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de Cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 32: 1227-1237. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300031>.
- Andreola, F., L. M. Costa, E. S. Mendonca e N. Olszewski. 2000. Propriedades químicas de uma Terra Roxa estruturada influenciadas pela cobertura vegetal de inverno e pela adubação orgânica e mineral. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 24: 609-620. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832000000300014>.
- Basso F. C., M. Andreotti, M. P. E. Carvalho, B. N. Lodo e R. Montanari. 2011. Correlação linear e espacial entre a produtividade e o teor de proteína bruta do guandu anão e os atributos de um Latossolo. *Rev. Bras. Ciênc. Agr.* 6: 521-530. doi: <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v6i3a1457>.
- Braz, A. J. B. P., P. M. Silveira, H. J. Kliemann e F. J. Pfeilsticker Zimmermann. 2004. Acumulação de nutrientes em folhas de milho e dos capins braquiária e Mombaça. *Pesq. Agric. Trop.* 34: 83-87.
- Calero-Hurtado A., E. Quintero-Rodríguez, Y. Pérez-Díaz, D. Olivera-Viciedo, K. Peña-Calzada y J. Jiménez-Hernández. 2019. Efecto entre microorganismos eficientes y fitomas-e en el incremento agroproductivo del frijol. *Biotechnol. Sector Agropec. Agroind.* 17: 25-33. doi: <http://dx.doi.org/10.18684/bsaa.v17n1.1201>.
- CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). 2019. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. V. 6 - SAFRA 2018/19- N. 6 - Sexto levantamento. Brasil. ISSN: 2318-6852.
- Correia, N. M. e J. C. Durigan. 2008. Culturas de cobertura e sua influência na fertilidade do solo sob sistema de plantio direto (SPD). *Biosci. J.* 24: 20-31.
- Cunha, E. Q., L. F. Piedra, J. A. Moreira, E. P. B. Ferreira, A. D. Didonet y W. M. Leandro. 2011. Indicadores químicos del suelo bajo producción orgánica influenciados por la preparación del suelo y las plantas de cobertura. *Eng. Agríc. Medioamb.* 15: 1021-1029.
- Cunha, E. Q., L. F. Stone, J. A. Moreira, E. P. B. Ferreira, A. Didonet y J. A. A. Moreira. 2012. Indicadores físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactada por sistemas de cultivo. *Rev. Bras. Engen. Agríc. Amb.* 16: 56-63.
- De María, I. C., P. C. Nnabude, and O. M. Castro. 1999. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. *Soil Tillage Res.* 51: 71-79. doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00025-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00025-2).
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias). 1997. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. Brasil.
- Ferreira, E. P. B., L. F. la Piedra, P. L. Partelli y A. D. Didonet. 2011. Productividad de la planta de frijol común influenciada por plantas de cobertura y sistemas de sistema del suelo. *Rev. Bras. Ing. Agríc. Medioamb.* 15: 695-701.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 2016. Panorama agroalimentario. Frijol. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61950/Panorama_Agroalimentario_Frijol_2016.pdf. (Consulta: mayo 06, 2019).
- García-Fraile, P., L. Carro, M. Robledo, M. H. Ramírez-Bahena, J. D. Flores-Felix, M. T. Fernández, P. F. Mateos, R. Rivas, J. M. Igual, E. Martínez-Molina, A. Peix y E. Velázquez. 2012. *Rhizobium* promotes non-legumes growth and quality in several production steps: Towards a biofertilization of edible raw vegetables healthy for humans. *PLoS ONE* 7: 38122. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038122>.
- Gazola, R. de N., L. H. Lovera, T. Souza Celestrino, R. Pereira Dinalli, R. Montanari e H. Andrade Queiroz. 2017. Variabilidade espacial das concentrações de nutrientes foliares da soja correlacionadas com atributos químicos de um Latossolo Vermelho distroférrico. *Rev. Ceres* 64: 441-449. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201764040014>.
- Jaurixje, M., D. Torres, B. Mendoza, M. Henríquez R. y J. L. Contreras. 2013. Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes sistemas en la zona de Quíbor, estado Lara. *Bioagro* 25: 47-56.
- Moreti, D., M. C. Alves, W. V. Valério Filho e M. P. Carvalho. 2007. Atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 3: 167-175. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000100017>.
- Nogueira A., A. R., A. O. Matos, C. A. F. S. Carmo, D. J. Silva, F. L. Monteiro, G. B. Souza, G. V. E. Pita, G. M. Carlos, H. Oliveira, J. A. Comastri Filho, M. Miyazawa e W. Oliveira Neto. 2005. Tecido vegetal. pp. 145-199. In: A. R. A. Nogueira e G. B. Souza, (eds.). Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos. Embrapa Pecuaría Sudeste. São Carlos, Brasil.
- Olguín L., J. L., R. D. Guevara, J. A. Carranza M., E. Scopel, O. A. Barreto G., O. R. Mancilla V. y A. Talavera V. 2017. Producción y rendimiento de maíz en cuatro tipos de labranza bajo condiciones de temporal. *IDESIA* 35: 51-61. doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-34292017005000018>.
- Olivet R., Y. E., R. A. Ortiz y D. Cobas Hernández. 2019. Efecto de dos sistemas de labranza mínima sobre la humedad de un suelo Fluvisol para cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ctro. Agríc.* 46: 18-23.
- Pavinato, P. S. y C. A. Rosolem. 2008. Disponibilidade de nutrientes no solo-decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 32: 911-920. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300001>.
- Prager M., M., O. E. Sanclemente, M. Sánchez, J. Miller y D. I. Ángel Sánchez. 2012. Abonos verdes: Tecnología para el sistema agroecológico de los cultivos. *Agroecología* 7: 53-62.
- Renté M., O., M. C. Nápoles-García, P. Pablos-Reyes y B. Vargas-Batis. 2018. Efecto de *Canavalia ensiformis* (L.) en propiedades físicas de un suelo fluvisol diferenciado en Santiago de Cuba. *Cult. Trop.* 39: 59-64.
- Sánchez, S., M. Hernández y F. Ruz. 2011. Alternativas de sistema de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios. *Pastos Forrajes* 34: 375-392.
- Santos, H. G., P. K. T. Jacomine, L. H. C. Anjos, V. A. Oliveira, J. F. Lumberras, M. R. Coelho, J. A. Almeida, J. C. Araujo Filho, J. B. Oliveira e T. J. F. Cunha. 2018. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasil. ISBN: 978-85-7035-817-2.

- Silva, S. C., A. B. Heinemann, R. L. F. Paz e A. O Amorim. 2010. Informações meteorológicas para pesquisa e planejamento agrícola, referentes ao ano de 2009, do município de Santo Antônio de Goiás, GO. Embrapa. Santo Antônio de Goiás, Goiás, Brasil.
- Silveira, P. M. da, A. J. P. B. Braz, H. J. Kliemann e F. J. P. Zimmermann. 2010. Acumulação de nutrientes em folhas de plantas de cobertura. pp. 61-76. In: P. M. Silveira e L. F. Stone (eds.). Plantas de cobertura dos solos do Cerrado. Embrapa. Santo Antônio de Goiás, Goiás, Brasil. ISBN: 9788574370354.
- Sousa-Neto, E. L., I. Andrioli, N. A. Beutler e J. F. Centurion. 2008. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. *Pesq. Agropec. Bras.* 43: 255-260. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000200015>.
- Sousa, D. M. G e E. Lobato 2004. Cerrado: Correção do solo e adubação. Embrapa Informação Tecnológica. Embrapa Cerrados. Planaltina (DF), Brazil. ISBN: 85-7383-230-4.
- StatSoft Inc. 2011. Statistica. System reference. StatSoft, Inc. Tulsa, OK, USA.
- Wutke, E. B., F. B. Arruda, A. L. Fancelli, J. C. V. N. A. Pereira, E. Sakai, M. Fujiwara y G. M. B. Ambrosano. 2000. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 24: 621-633. doi: <http://doi.org/10.1590/S0100-06832000000300015>.