

## Potencial de especies de leguminosas mejoradoras de la fertilidad del suelo en regiones tropicales

Moisés Matías-Ramos<sup>1§</sup>  
Claudia Isabel Hidalgo-Moreno<sup>1</sup>  
Mariela Fuentes-Ponce<sup>2</sup>  
Julián Delgadillo-Martínez<sup>1</sup>  
Jorge Dionisio Etchevers<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Edafología-Campus Montecillos-Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230. (hidalgo@colpos.mx; juliandm@colpos.mx; jetchev@colpos.mx). <sup>2</sup>Departamento de Producción Agrícola y Animal-Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. México. (mfponce@correo.xoc.uam.mx).

§Autor para correspondencia: matias.moises@colpos.mx.

### Resumen

Una alternativa para mejorar la fertilidad de los suelos agrícolas en zonas tropicales de México y el mundo es mediante el uso de coberturas vegetales y abonos verdes, principalmente de especies de la familia Leguminosae. El objetivo de este trabajo fue analizar el potencial de las leguminosas como mejoradoras de la fertilidad del suelo en áreas agrícolas tropicales mediante la técnica de investigación documental, considerando investigaciones científicas de los últimos 20 años, período 2000-2023. Derivado de la revisión, se determinaron 14 especies estudiadas ampliamente y 24 más, con alto potencial como mejoradoras de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Las especies más utilizadas en los trópicos son: *Mucuna pruriens* L. (DC) (biomasa: 2.6 a 7.9 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, N: 80 a 200 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), *Canavalia ensiformis* (L.) DC (biomasa: 4.6 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; N: 173 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y *Centrosema macrocarpum* Benth (biomasa: 9.6 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, nitrógeno: 311 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). La producción en los cultivos asociados con leguminosas ha aumentado hasta en 50%. A pesar de los beneficios al suelo y en la producción, la aceptación y adopción de leguminosas ha sido limitado por diferentes causas, entre ellas: la falta de percepción de los beneficios de las leguminosas, fallas en la tecnología generada y aplicada, y escaso enfoque participativo en su selección. Con la información generada en este trabajo se concibieron 10 recomendaciones para facilitar la selección de especies, proveer información que faciliten su adopción y que sirva como base en futuras investigaciones.

**Palabras clave:** cobertura vegetal, degradación, materia orgánica, nitrógeno.

Recibido: marzo de 2023

Aceptado: junio de 2023

## Introducción

La fertilidad del suelo es un concepto amplio que integra los atributos químicos, físicos y biológicos asociado a su capacidad para generar beneficios al medio ambiente y las sociedades humanas (Etchevers *et al.*, 2022). Cuando esos atributos se ven afectados, puede reducirse la fertilidad y degradarse el suelo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) define la degradación del suelo como los cambios en sus características que afectan sus funciones y ocasionan la reducción de los rendimientos de los agroecosistemas (FAO-ITPS, 2021).

La degradación ocasionada por prácticas inadecuadas de manejo genera pérdida de la fertilidad del suelo, considerado como el problema más grave pues limita el propósito de la seguridad alimentaria y la adaptación ante la variabilidad climática, que influyen en las condiciones de pobreza y migración rural al impedir que los suelos proporcionen bienes y servicios de la manera esperada (Cotler *et al.*, 2017; Estrada-Herrera *et al.*, 2017). El uso de cultivos de cobertera representa una alternativa para mejorar la fertilidad de los suelos tropicales degradados, al incorporar materia orgánica al suelo (MOS) que mejora sus características (Prager *et al.*, 2012). Las especies más utilizadas para este propósito pertenecen a la familia Leguminosae por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico al suelo (Mpai *et al.*, 2016).

A pesar de que existe una amplia información sobre el potencial de las leguminosas como mejoradoras de las propiedades del suelo, es necesario recopilar datos sobre especies tropicales que les faciliten a los productores y programas regionales y locales la selección de las más apropiadas para su uso. El objetivo de este trabajo fue documentar las investigaciones realizadas en México y otras regiones del mundo, acerca del uso de las especies de leguminosas más frecuentemente usadas por su potencial para mejorar la fertilidad de los suelos en áreas agrícolas tropicales.

## Metodología

En esta revisión se realizaron búsquedas en los siguientes repositorios; ScienceDirect, Scopus, Scielo, Redalyc y Google Académico para el período 2000-2023, empleando palabras clave como: especies de leguminosas tropicales, asociación de cultivos, cultivos de cobertera, abonos verdes, producción de biomasa, fertilidad del suelo, degradación del suelo. Las búsquedas priorizaron investigaciones de artículos científicos obteniendo poco más de 200 resultados, de los que se seleccionaron un total de 65 investigaciones que tuvieron mayor relevancia en el tema.

## Resultados y discusión

### Fertilidad del suelo asociada a la cubierta vegetal en regiones tropicales

La cubierta vegetal desempeña un papel muy importante en los ecosistemas de zonas tropicales, porque mejora el nivel de nutrientes del suelo superficial, lo que les permite a las plantas explotar las reservas de nutrientes más profundas, recuperar lixiviados, aportar restos orgánicos que se depositan en la superficie, beneficiando a microorganismos que contribuyen a su incorporación (Isaac y Nair, 2006; Alegre *et al.*, 2015). La cubierta vegetal protege la estabilidad de los agregados superficiales contra la acción destructora de la lluvia (Matías *et al.*, 2020).

La remoción y quema de la cubierta forestal, una práctica común en los suelos de la península de Yucatán disminuye la producción de residuos orgánicos. El problema del deterioro de la calidad del suelo empeora porque una parte importante de la fertilidad de éste se mantiene por el reciclaje de nutrientes (Alegre *et al.*, 2015). Dada la disminución de nutrientes en los suelos tropicales, actualmente existe una tendencia hacia la utilización más racional del suelo, con base en principios de conservación, que contribuyen a obtener máximos rendimientos con mínima degradación.

### **Uso de cubiertas vegetales como mejoradores de la fertilidad de los suelos**

Como consecuencia de la pérdida de la fertilidad de los suelos, es relevante el desarrollo de proyectos que identifiquen y evalúen los factores que gobiernan el proceso para ayudar a su mitigación. Actualmente existen tecnologías que permiten aminorar el agotamiento de los nutrientes del suelo, entre las que se encuentran: la agricultura de conservación, la labranza mínima, el uso de enmiendas orgánicas, el manejo de residuos, las técnicas de agroforestería, la rotación de cultivos y el uso de abonos verdes y cubiertas vegetales (Halbrendt *et al.*, 2014; Delgado, 2017).

Las ‘cubiertas vegetales’, término definido por Anderson *et al.* (1997) son coberturas vegetales vivas que arrojan el suelo, temporal o permanente, cultivadas en asociación (intercalado, relevo o rotación). El uso de éstas es una manera de aumentar la productividad de los suelos agrícolas y reducir su degradación. De acuerdo con Delgado (2017), su uso tiene una correlación positiva con la porosidad del suelo, el contenido de humedad, la densidad aparente, la regulación de la temperatura y con mantener cohesionadas las partículas de suelo. Aunque los cultivos de cobertura pueden pertenecer a cualquier familia de plantas, la mayoría son leguminosas, ya que tienen una alta capacidad para mejorar las condiciones del suelo mediante el reciclaje de nutrientes, la fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico y el control de la vegetación indeseable (Mpai *et al.*, 2016).

### **Importancia de las leguminosas para incrementar la fertilidad de los suelos**

El uso de leguminosas en los sistemas es reconocido por su capacidad para recuperar la fertilidad de los suelos (Prager *et al.*, 2012; Mpai *et al.*, 2016). Las mejoras de la calidad de un suelo dependen de sus propiedades, las condiciones climáticas y las prácticas de manejo adoptadas (Sánchez *et al.*, 2019). En las regiones cálidas se han usado las leguminosas porque favorecen la fijación de nitrógeno atmosférico a través de la simbiosis con rizobias (Wang y Sainju, 2014), un elemento frecuentemente deficiente en ellas.

En los sistemas agrícolas tropicales, las leguminosas representan una fuente sustancial de nitrógeno (N) producto de la fijación simbiótica (Douxchamps *et al.*, 2014). El N que fijan se hace prontamente disponible para los cultivos asociados, vía mineralización de los residuos, ya que contiene mayor concentración de N y una menor relación carbono: nitrógeno (C:N) que las gramíneas. Las leguminosas se descomponen rápidamente proporcionando N a los cultivos posteriores y cuando las leguminosas contienen taninos puede estar disponible hasta 90 días después de su incorporación (Mulvaney *et al.*, 2009; Wang y Sainju, 2014)

Además de aportar N, las leguminosas incorporan biomasa (carbono) al suelo, así como nutrientes tales como fósforo, potasio, calcio y magnesio (Guzmán *et al.*, 2008). Las leguminosas aquí llamadas tropicales pueden desarrollarse en diversas condiciones, por lo que necesario seleccionar las especies más adecuadas para condiciones específicas, considerando la situación edafoclimática del sitio de establecimiento, lo cual ayudaría a obtener mayor éxito en su introducción.

### Especie de leguminosas tropicales de mayor uso como abonos verdes

Como resultado de esta investigación se originó el Cuadro 1 que muestra 14 especies de leguminosas con aportes significativos de biomasa y nitrógeno al suelo. Las especies de *Mucuna* sp. y *Canavalia ensiformis* (L.) DC son las más empleadas, debido a que presentan rendimiento elevado de biomasa (Kaizzi *et al.*, 2006). Puertas *et al.* (2008) recomienda utilizar *Centrosema macrocarpum* Benth para mejorar la fertilidad del suelo por su capacidad de aportar nutrientes al suelo (N 311 kg ha<sup>-1</sup>, P 25 kg ha<sup>-1</sup>, K 155 kg ha<sup>-1</sup>) y producir una considerable cantidad de biomasa (9.61 t ha<sup>-1</sup>). Especies como *Leucaena leucocephala* (Lam.) llegan a producir aproximadamente 20 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de biomasa, aportando alrededor de 358 kg ha<sup>-1</sup> de N, 28 kg ha<sup>-1</sup> de P, 232 kg ha<sup>-1</sup> de K y 144 kg ha<sup>-1</sup> de Ca (Bossa *et al.*, 2005). La tasa de fijación de nitrógeno es variable dependiendo de la especie y el manejo.

**Cuadro 1. Biomasa (t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y nitrógeno fijado al suelo (kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) por especies de leguminosas en el trópico y subtrópico.**

Especie	Lugar de establecimiento	Biomasa (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Nitrógeno fijado (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Fuente
<i>Leucaena leucocephala</i> Lam.	Puerto Príncipe, Haití	20 a 35	388	Bossa <i>et al.</i> (2005)
<i>Vigna unguiculata</i> L.	Yucatán, México	sd	23.2	Terán <i>et al.</i> (1998)
<i>Crotalaria juncea</i> L.	Hawái, EE. UU	7	150-165	Rotar y Joy (1983)
	Alabama, EE. UU	5.9	126	Reeves <i>et al.</i> (1996)
<i>Mucuna pruriens</i> L. (DC)	Este de Uganda	2.6 a 7.9	80 a 200	Kaizzi <i>et al.</i> (2006)
<i>Mucuna</i> sp.	Yucatán, México	5.4	43.4	Castillo <i>et al.</i> (2010)
<i>Phaseolus lunatus</i> L. (ciclo largo)	Yucatán, México	5.7	52.9	
<i>Phaseolus lunatus</i> L. (ciclo corto)	Yucatán, México	3.15	31.9	
<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Veracruz, México	2.71 a 8.26	14.72 a 113	Díaz <i>et al.</i> (2017)
<i>Canavalia ensiformis</i> L. (DC)	San Martín, Perú	4.59	173.68	Puertas <i>et al.</i> (2008)
<i>Arachis pintoi</i> Krapov. & W.C. Greg	Tabasco, México	5.07	130.38	Vera-Núñez <i>et al.</i> (2008)
<i>Calopogonium mucunoides</i> L.	Tabasco, México	5.93	189.16	Puertas <i>et al.</i> (2008)
<i>Centrosema macrocarpum</i> Benth.	San Martín, Perú	9.61	311.21	
<i>Clitoria ternatea</i> L.	Veracruz, México	sd	26.104	Díaz <i>et al.</i> (2017)
<i>Cajanus cajan</i> L. Mill. sp.	Tabasco, México	sd	230	Vera-Núñez <i>et al.</i> (2008)

sd= sin datos.

En el Cuadro 2 se presentan 24 especies con potencial de uso como mejoradoras de suelo y que actualmente tienen algún uso alternativo, característica que le pueden beneficiar y ayudan a su utilización. Estas especies pueden ser útiles como referencia para ensayos experimentales en regiones tropicales de México y otros países.

**Cuadro 2. Especies de leguminosas potenciales para su uso como mejoradoras de suelos agrícolas en las zonas tropicales de México.**

Especie	Anual	Perenne	Uso				Fuente
			Comestible	Forraje	Pasto	Cerca viva	
<i>Aeschynomene americana</i> L.		x		x	x		Díaz-Vergara <i>et al.</i> (2020)
<i>Albizia lebbbeck</i> (L.) Benth.		x		x			Mireles <i>et al.</i> (2020)
<i>Alysicarpus vaginalis</i> (L.)	x			x			Díaz-Vergara <i>et al.</i> (2020)
<i>Arachis hypogaea</i> L.	x		x	x			Montero (2020)
<i>Calapogonium</i> sp.		x		x			Díaz-Vergara <i>et al.</i> (2020)
<i>Calliandra calothyrsus</i> Meissn.		x		x			Crespo <i>et al.</i> (2011)
<i>Canavalia gladiata</i> (Jacq.) DC.		x		x			Chel-Guerrero <i>et al.</i> (2016)
<i>Chamaecrista kunthiana</i> (Schltdl. & Cham.) H.S. Irwin & Barneby		x		x			Díaz-Vergara <i>et al.</i> (2020)
<i>Desmodium ovalifolium</i> (L.) DC.		x		x	x		Díaz-Vergara <i>et al.</i> (2020)
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb		x		x			Pinto-Ruiz <i>et al.</i> (2010)
<i>Erythrina glauca</i> Willd		x				x	Pinto-Ruiz <i>et al.</i> (2010)
<i>Leucaena diversifolia</i> Benth		x		x			Pinto-Ruiz <i>et al.</i> (2010)
<i>Macroptilium atropurpureum</i> (Moc. & Sesse ex DC.)	x			x	x		Alatorre-Hernández <i>et al.</i> (2018)
<i>Macrotyloma uniflorum</i> (Lam.)	x		x	x	x		Echo community (2017)
<i>Mucuna bracteata</i> DC.	x			x			Díaz-Vergara <i>et al.</i> (2020)

Especie	Anual	Perenne	Uso				Fuente
			Comestible	Forraje	Pasto	Cerca viva	
<i>Neonotonia wightii</i> (Arn.) J.A. Lackey	x			x	x		López-Vigoa <i>et al.</i> (2019)
<i>Phaseolus acutifolius</i>	x			x			Alatorre-Hernández <i>et al.</i> (2018)
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth		x	x	x		x	Pinto-Ruiz <i>et al.</i> (2010)
<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.)	x			x			Ribeiro y Antoniol (2021)
<i>Sesbania rostrata</i> S.		x	x	x	x		Muñiz <i>et al.</i> (2012)
<i>Vigna radiata</i> L. Wilezek	x		x	x			Miquilena e Higuera (2012)
<i>Vigna subterranea</i> L. Verdc.	x		x				Miquilena e Higuera (2012)
<i>Vigna umbellata</i> (Thunb)	x		x	x			Miquilena e Higuera (2012)
<i>Lablab prurpureus</i> L. Sweet	x		x	x	x		Beltrán <i>et al.</i> (2005)

### Efecto del uso de especies de leguminosas como mejoradoras del suelo en la producción de los cultivos de interés

La introducción de leguminosas asociadas con diferentes cultivos tropicales ha cambiado las prácticas convencionales, convirtiéndose en una tecnología que promueve la conservación del suelo y aumenta los rendimientos de los cultivos (Erenstein, 2002). En esta revisión se recabaron resultados del uso de leguminosas en la producción de cultivos de interés (Cuadro 3). La asociación de cultivos de leguminosas como mejoradores del suelo incrementaron la producción del cultivo asociado bajo manejo tradicional hasta 50%. En algunos de estos estudios los resultados se observaron en el segundo o tercer año después del uso de leguminosas.

Castro-Rincón *et al.* (2018) reportaron estudios hechos en varios países; por ejemplo, en trabajos realizados con arroz en Brasil se encontró que en los tratamientos con abonos verdes de leguminosas aumentaron la producción de 18% a 20% con respecto al testigo. En ese mismo estudio, se reporta que en Uganda se observaron rendimientos de grano de maíz y frijol de 50 a 60% más elevados cuando se utilizaban abonos verdes. Los resultados sugieren que los rendimientos obtenidos fueron por la inclusión de leguminosas.

**Cuadro 3. Efecto en el establecimiento de leguminosas y diferentes cultivos.**

Especie de leguminosa	Cultivo asociado	Rendimiento del cultivo	Lugar de establecimiento	Fuente
<i>Mucuna pruriens</i> L.	<i>Zea mays</i> L.	1 076 kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	Oaxaca, México	Serrano <i>et al.</i> (2006)
<i>Canavalia ensiformis</i> L. y <i>Mucuna pruriens</i> L.	<i>Zea mays</i> L.	1 477 kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	Yucatán, México	Ayala <i>et al.</i> (2008)
<i>Mucuna pruriens</i> L. y <i>Crotalaria juncea</i>	<i>Zea mays</i> L.	2 570 kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	Isabela, Puerto Rico	Martínez-Mera <i>et al.</i> (2016)
<i>Mucuna</i> sp.	<i>Zea mays</i> L.	1 819 kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	Yucatán, México	Castillo <i>et al.</i> (2010)
<i>Sesbania Rostrata</i> S.	<i>Oryza sativa</i> L.	Incremento de 1 000 kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	La Habana, Cuba	Muñiz <i>et al.</i> (2012)
<i>Crotalaria juncea</i> L.	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	13 026 kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> peso fresco	Tabasco, México	Magaña <i>et al.</i> (2020)

### Transferencia de tecnologías para la adopción y el uso de leguminosas

Las investigaciones descritas en esta revisión muestran que es posible mejorar la fertilidad del suelo y que los beneficios de usar especies del género leguminosas son científica y claramente demostrados. Sin embargo, la adopción y el uso de abonos verdes por los productores no ha sido del todo positivo. En el estudio realizado por Castro-Rincón *et al.* (2018) encontraron que la adopción de la tecnología por los productores ha sido baja por las siguientes causas: 1) la falta de percepción de los beneficios de las leguminosas por parte de los productores; 2) fallas en la tecnología generada y aplicada; y 3) falta de un enfoque participativo en la investigación y procesos de difusión. Otra limitante es el alto costo de las semillas y la dificultad de obtener una sincronía entre la liberación de los nutrientes contenidos en estas plantas y la demanda del cultivo principal (Resende *et al.*, 2001).

La especie para utilizar como mejoradores de la fertilidad del suelo deben adecuarse al sistema de producción del agricultor, tener bajo costo de implantación, ser resistentes a plagas y de rápido crecimiento (Sodré *et al.*, 2004). Zhang *et al.* (2013) recomiendan el uso de especies herbáceas y arbustivas nativas que sean adaptables a las condiciones ecológicas del sitio. De la mano de las recomendaciones técnicas, deben elaborarse políticas públicas para la implementación y desarrollo de proyectos que impulsen el desarrollo y uso de tecnologías encaminadas a revertir la degradación de los suelos, los esfuerzos deben ir encaminados a generar tecnologías o aplicar las ya existentes para revertir las acciones que han degradado al suelo (Etchevers *et al.*, 2022).

### Conclusiones

El uso de leguminosas en sistemas de cultivo, además de aportar N, coadyuva a reducir la erosión y a mejorar las propiedades físicas (estructura, porosidad, densidad aparente, retención de humedad), químicas (disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio) y biológicas (incremento de la actividad microbiana) del suelo. Por su alto potencial, las especies de leguminosas tropicales representan una alternativa para mejorar la fertilidad de los suelos.

Se determinó que las especies más utilizadas por su efectividad en las zonas tropicales de México y de otras partes del mundo son: *Mucuna pruriens* L. (DC), *Canavalia ensiformis* (L.) DC y *Centrosema macrocarpum* Benth. Existen también especies arbustivas y arbóreas que pueden fijar hasta 300 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de N, como *Leucaena leucocephala* (Lam.), las cuales pueden ser utilizadas dentro de sistemas silvopastoriles o en combinación con otras especies de interés comercial.

A pesar de que existe suficiente información científica que resalta las bondades del uso de leguminosas para el suelo, se requieren más estudios que se enfoquen en las asociaciones de leguminosas con otros cultivos para evitar competencia con el cultivo de interés, conocer a detalle los requerimientos edafoclimáticos de la especie a ser empleada, saber más de su ciclo fenológico y su hábito de crecimiento. La difusión de la información acerca de las ventajas de uso de las leguminosas dirigida a los productores de las zonas tropicales de México es escasa, hace falta un enfoque participativo que tomen en cuenta las necesidades específicas. La insuficiente información limita la adopción del uso de leguminosas como mejoradoras del suelo en el trópico mexicano.

Para lograr la adopción del uso de las cubiertas vegetales se recomienda resaltar los beneficios secundarios que trae introducir estas especies, que tiene un bajo costo de implementación, por ser especies de la región y de fácil manejo. La información obtenida en esta revisión puede ayudar a futuras investigaciones en la selección de leguminosas por su alto potencial para mejorar la fertilidad de los suelos de regiones tropicales.

## Bibliografía

- Alatorre-Hernández, A.; Guerrero-Rodríguez, J. D. Olvera-Hernández, J. I. Aceves-Ruíz, E. y Vaquera-Huerta, H. 2018. Leguminosas forrajeras herbáceas de enredadera, recursos poco valorados en el trópico seco. *Rev. Fitotec. Mex.* 41(4):403-411.
- Alegre, J.; García, S.; Vega, R. y Arévalo, Y. 2015. Manual reciclaje de nutrientes en sistemas agroforestales. La Moilina-Lima. ResearchGate. 25 p. Doi: 10.13140/RG.2.2.17646.72003.
- Anderson, S.; Ferraes, N.; Gundel, S.; Keane, B. y Pound, B. 1997. Cultivos de Cobertura: componentes de sistemas integrados. Taller Regional Latinoamericano. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. 4-116 pp.
- Ayala, S. A.; Krishnamurthy, L. R. y Basulto, G. J. A. 2008. Leguminosas de cobertura para mejorar y sostener la productividad de maíz en el sur de Yucatán. *Terra Latinoam.* 27(1):63-69.
- Beltrán-Morales, F. A.; García-Hernández, J. L.; Valdez-Cepeda, R. D.; Murillo-Amador, B.; Troyo-Dieguez, E.; Larrinaga-Mayoral, J.; Ruiz-Espinoza, F. H.; Fenech-Larios, L. y García-Rodríguez, F. 2005. Sistemas de labranza, incorporación de abono verde y recuperación de la fertilidad de un yermosol háplico. *Terra Latinoam.* 23(3):381-387.
- Bossa, J. R.; Adams, J. F.; Shannon, D. A. and Mullins, G. L. 2005. Phosphorus and potassium release pattern from leucaena leaves in three environments of Haiti. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 73(1):25-35.
- Castillo, C. J. B.; Caamal-Maldonado, J. A.; Jiménez-Osornio, J. J. M.; Bautista-Zúñiga, F.; Amaya-Castro, M. J. y Rodríguez-Carrillo, R. 2010. Evaluación de tres leguminosas como coberturas asociadas con maíz en el trópico subhúmedo. *Agron. Mesoam.* 21(1):39-50. Doi: <https://doi.org/10.15517/am.v21i1.4910>.



- Castro-Rincón, E.; Mojica-Rodríguez, J. E.; Carulla-Fornaguera, J. E. y Lascano-Aguilar, C. E. 2018. Abonos verdes de leguminosas: integración en sistemas agrícolas y ganaderas del trópico. *Agron. Mesoam.* 29(3):711-729. Doi: 10.15517/ma.v29i3.31612.
- Chel-Guerrero, L. A.; Delgado-Herrera, A.; Betancur-Ancona, D. A.; Pérez-Aviña, P. y Castellanos-Ruelas, A. F. 2016. Evaluación proteínica y energética de semillas tratadas de *Canavalia* empleadas como alimento para aves en el trópico. *Nova Sci.* 8(17):219-232.
- Cotler, A. H. y Cuevas, F. Ma. L. 2017. Estrategias de conservación de suelos en agroecosistemas de México. Fundación Río Arronte, IAP. 1ª Ed. Ciudad de México. 114 p.
- Crespo, Z. M.; Rodríguez, A. A.; Valencia, E. C. y Randel, P. F. 2011. Características agronómicas y composición química de tres leguminosas arbustivas: *Cratylia Argentea* (Desv.) Kuntze, *Calliandra Calothyrsus* meisn y *Leucaena Leucocephala* (lam.) De Wit, J. *Agrie. Univ. RR.* 95(1-2):99-104. Doi: <https://doi.org/10.46429/jaupr.v95i1-2.2552>.
- Delgado, D. M. 2017. Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. *Lámpsakos.* 1(17):77-83. Doi: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.1907>.
- Díaz, P. L. A.; Vázquez, L. D.; Jarquín, S. A.; Velázquez, S. A. y Lara, R. D. A. 2017. Especies tropicales (Fabaceae): inversión asociada al aporte rizosférico de nitrógeno y fósforo al suelo. *Agro productividad.* 10(12):116-120.
- Díaz, V. M.; Díaz, O. N. y Osorio, B. O. 2020. Biodiversidad y servicios ecológicos de las arvenses en el cultivo de tomate en la provincia de Los Santos República de Panamá. *Visión Antataura.* 4(2):16-34. Doi: <https://doi.org/10.48204/j.vian.v4n2a2>.
- Douxchamps, S.; Rao, I. M.; Peters, M.; Van-Der-Hoek, R.; Schmidt, A.; Martens, S.; Polania, A. J.; Mena, M. A.; Binder, C. R.; Schöll, R.; Quintero, M.; Kreuzer, M.; Frossard, E. and Oberson, A. 2014. Farm-scale tradeoffs between legume use as forage *versus* green manure: the case of *Canavalia brasiliensis*. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 38(1):25-45. Doi: <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.828667>.
- Echo community. 2017. Buenas prácticas. Selección de leguminosas como abono verde/cultivos de cobertura. Echo Development Notes. North Fort Myers, Florida 33917. USA. Boletín núm. 7. 18 p. <https://www.echocommunity.org/es/resources/f9596754-bd6d-4895-a4de-4bc77de91728>.
- Erenstein, O. 2002. Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: an evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil Tillage Res.* 67(2):115-133. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00062-4](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00062-4).
- Estrada-Herrera, I. R.; Hidalgo-Moreno, C.; Guzmán-Plazola, R.; Almaráz-Suárez, J. J.; Navarro-Garza, H.; Etchevers-Barra, J. D. 2017. Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia.* 51(8):813-831.
- Etchevers, J. D.; Hidalgo, M. C. y Paz, P. F. 2022. Degradación de suelos y necesidad de políticas públicas. *Elementos para políticas públicas.* 3(3):267-273.
- FAO-ITPS. 2021. Recarbonizing global soils-A technical manual of recommended management practices. Volume 1: Introduction and methodology. Rome, FAO. Doi: <https://doi.org/10.4060/cb6386en>.
- Guzmán, C. G. I. y Alonso, M. A. M. 2008. Buenas prácticas en producción ecológica. Uso de abonos verdes. Centro de investigación y formación en agricultura ecológica y desarrollo rural. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Camino del Jan, s/n 18320 Santa Fe Granada, España. 22 p. ISBN:978-84-491-0867-9.

- Halbrendt, C. J.; Kimura, A. H.; Gray, S. A.; Radovich, T. J. K.; Reed, B. B. and Tamang, B. B. 2014. Implications of conservation agriculture for men's and women's workloads among marginalized farmers in the Central Middle Hills of Nepal. *Mt. Res. Dev.* 34(3):214-222. Doi: <https://doi.org/10.1659/mrd-journal-d-13-00083.1>.
- Isaac, S. R. and Nair, M. A. 2006. Litter dynamics of six multipurpose trees in a homegarden in Southern Kerala, India. *J. Agrofor. Syst.* 67(3):203-213. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-005-1107-3>.
- Kaizzi, C. K.; Ssali, H. and Vlek, P. L. G. 2006. Differential use and benefits of Velvet vean (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) and N fertilizers in maize production in contrasting agro-ecological zones of E. Uganda. *Agric. Syst.* 88(1):44-60. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agry.2005.06.003>.
- López-Vigoa, O.; Lamela-López, L.; Sánchez-Santana, T.; Olivera-Castro, Y.; García-López, R.; Herrera-Villafranca, M. y González-Ronquillo, M. 2019. Evaluación del valor nutricional de los forrajes en un sistema silvopastoril. *Pastos y Forrajes.* 42(1):57-67.
- Magaña, V. W.; Obrador, O. J.; García, L. E.; Castelán, E. M. y Carrillo, Á. E. 2020. Rendimiento comparativo de la yuca bajo fertilización mineral y abono verde. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 11(6):1259-1271.
- Martínez-Mera, E.; Valencia, C. E. y Cuevas, E. H. 2016. Evaluación del rendimiento de maíz dulce (*Zea mays* 'Suresweet') con las leguminosas cobertoras mucuna enana (*Mucuna pruriens*) y crotalaria (*Crotalaria juncea* "Tropic Sun") en un Oxisol de Puerto Rico University of Puerto Rico. 1. *J. Agric.* 00(1):57-70.
- Matías, R. M.; Gómez, D. J. D.; Monterroso, R. A. I.; Uribe, G. M.; Villar, H. B de J.; Ruíz, G. P. y Asencio, G. C. 2020. Factores que influyen en la erosión hídrica del suelo en un bosque templado. *Rev. Mex. Cienc. Forest.* 11(59):51-71. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.673>.
- Miquilena, L. E. e Higuera, M. A. 2012. Evaluación del contenido de proteína, minerales y perfil de aminoácidos en harinas de *Cajanus cajan*, *Vigna unguiculata* y *Vigna radiata* para su uso en la alimentación humana. *Rev. Científica UDO Agrícola.* 12(3):730-740.
- Mireles, F. S.; Ly, C. J.; Caro, R. Y. and Grageola, N. F. 2020. Foliage of *Albizia lebbek* (L.) Benth for feeding pigs. 1. Indices of consumption pattern and productive behavior. *Rev. Bio Cienc.* 7(1):1-10. Dio: <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e940>.
- Montero, T. J. 2020. Importancia nutricional y económica del maní (*Arachis hypogaea* L.). *Rev. de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales.* 7(2):112-124.
- Mpai, T. P.; Jaiswal, S. K. and Dakora, F. D. 2016. Biological nitrogen fixation and molecular diversity of rhizobia isolated from root nodules of wild legumes: *Polhilia*, *Wiborgia* and *Wiborgiella* species of the South African Cape fynbos. *South Afr. J. Bot.* 103(1):336. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.02.122>.
- Mulvaney, R. L.; Khan, S. A. and Ellsworth, T. R. 2009. Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil nitrogen: a global dilemma for sustainable cereal production. *J. Environ. Qual.* 38(6):2295-2314. doi:10.2134/jeq2008.0527.
- Muñiz, U. O.; Cabello, M. R.; Socorro, Q. M.; Nuviola, M. A. y Dueñas, V. G. 2012. La *Sesbania Rostrata* como fuente alternativa de nutrientes en el cultivo del arroz. *Spanish J. Soil Sci.* 12(2):57-62. Doi: 10.3232/SJSS.2012.V2.N3.06.
- Pinto-Ruiz, R.; Hernández, S. D.; Gómez, C. H.; Cobos, M. A.; Quiroga, M. R. y Pezo, D. A. 2010. Árboles forrajeros de tres regiones ganaderas de Chiapas, México: usos y características nutricionales. *Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo.* 26(1):19-31.

- Prager, M. S.; Sanclemente, R. O. E.; Sánchez, P. M.; Gallego, J. M. y Ángel, D. I. 2012. Abonos verdes: tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. *Agroecología*. 7(1):53-62.
- Puertas, R. F.; Arévalo, G. E.; Zúñiga, C. L.; Alegre, J. C.; Loli, F. O.; Soplín, V. H. y Baligar, V. C. 2008. Establecimiento de cultivos de cobertura y extracción total de nutrientes en el suelo de trópico húmedo en la Amazonía peruana. *Ecología Aplicada*. 7(1-2):23-28.
- Reeves, D. W.; Mansoer, Z. Z. and Wood, C. W. 1996. Suitability of sun hemp as an alternative legume cover crop. *Proceedings of the New Technology and Conservation Tillage*. 96(7):125-130.
- Resende, A. S.; Quesada, D. M.; Xavier, R. P.; Guerra, J. G. M.; Boddey, R. M.; Alves, B. J. A. and Urquiaga, S. E. 2001. Uso de leguminosas para adubação verde: importância da relação talo/folha. *Agronomia*. 35(1-2):77-82.
- Ribeiro, M. R. and Antoniol, F. J. R. 2021. Trocas gasosas de *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth submetida à variação da temperatura foliar. *Circular Técnica*. 82(1):1-12.
- Rotar, P. P. and Joy, R. J. 1983. Tropic Sun sunn hemp, *Crotalaria juncea* L. research extension. College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawaii, Honolulu, HI, USA. 2(36):1-7.
- Sánchez, N. V.; Zornoza, B. R.; Faz, C. A. and Fernández, A. J. 2019. Comparing legumes for use in multiple cropping to enhance soil organic carbon, soil fertility, aggregates stability and vegetables yields under semi-arid conditions. *Sci. Hortic*. 246(1):835-841. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.065>.
- Serrano, A. V. y Cano, G. M. A. 2006. Leguminosas de cobertura para reducir la erosión y mejorar la fertilidad de suelo de ladera. *Terra Latinoam*. 25(4):427-435.
- Sodré, F. J.; Cardoso, A. N.; Carmona, R. and Carvalho, A. M. 2004. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na Região do Cerrado. *Pesqui. Agropecu. Bras*. 39(4):327-334. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000400005>.
- Terán, C. S.; Rasmussen, H. C. y May, C. O. 1998. Las plantas de la milpa entre los mayas. Ed. Fundación Tunben Kin, AC. Mérida, Yucatán, México. 278 p. ISBN: 9709206001; 9789709206005.
- Vera-Núñez, J. A.; Infante-Santiago, J. P.; Velasco-Velasco, V.; Salgado-García, S.; Palma-López, D. J.; Grageda-Cabrera, O. A.; Cárdenas-Navarro, R. and Peña-Cabriales, J. J. 2008. Influence of fertilization on biological nitrogen fixation in herbaceous legumes grown in acid savannah soil from the Tabasco state, Mexico. *J. Sustain. Agric*. 3(3):25-42. Doi: <https://doi.org/10.1300/J064v31n03-04>.
- Wang, J. and Sainju, U. M. 2014. Soil carbon and nitrogen fractions and crop yields affected by residue placement and crop types. *Plos One*. 9(8):1-11. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105039>.
- Zhang, Z. Y.; Wan, C. Y.; Zheng, Z. W.; Hu, L.; Feng, K.; Chang, J. B and Ping, X. 2013. Plant community characteristics and their responses to environmental factors in the water level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir in China. *Environ. Sci. Pollut Res*. 20(10):7080-7091. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1702-1>.