Evaluación de componentes de un sistema agroforestal establecido en la Unidad de Estudios Superiores Amatepec, Estado de México

Ricardo Telles-Antonio***** José Pedro Felipe-Pérez, Jorge Hernández-Hernández, Ximena Márquez-Santana, Dalia Jolet Ocampo-Cortés, Saúl Reynoso-Guadarrama

Universidad Mexiquense del Bicentenario. Unidad de Estudios Superiores Amatepec.

Artículo recibido el 15 de septiembre de 2025 y aceptado el 9 de diciembre de 2025

Evaluation of components of an agroforestry system established at the Amatepec Higher Education Unit, State of Mexico

Abstract

The objective of this study is to evaluate the components of an agroforestry system established at the Amatepec Higher Education Unit in the State of Mexico. The AFS covers an area of 391 m^2, with 33 plants located two meters apart on two contour lines with lengths of 20 and 44 linear meters and a separation of six meters. Eight agroecological beds measuring 3 m long x 1.5 m wide were created, incorporating grass and 133 kg of compost with a pH of 7.58, organic carbon 4.71%, and organic matter 8.12%, which according to NMX-AA-180-SCFI-2018 is classified as type III. Forty green tomato seedlings were transplanted, and radish and *Cajanus cajan* seeds were sown on bare soil. Two hundred liters of biofertilizer were obtained, and its physical and chemical properties were determined. The temperature (°C), total dissolved solids (dS/m), and pH of the soil inside and outside the agroecological beds were monitored. Precipitation (mm) was monitored with an analog rain gauge. Data were collected on height (cm), neck diameter (mm), number of flowers/plant, number of leaves/plant, number of fruits/plant, leaf length (cm), leaf width (cm), bulb diameter (mm), weight (g), and days to transplanting, and the Robustness Index for *C. cajan* was determined. The soil temperature inside the beds averaged 27.0 °C and outside 27.4 °C. Average precipitation was 8.3 mm during the monitoring period. The green tomato 77 days after transplanting showed ripe fruits. The radish bulb showed maturity 34 days after sowing. *C. cajan* shows adaptation in its growth to site conditions. The forest species planted in the AFS showed increased growth in both height and neck diameter, as well as an optimal IR for their survival in the field. The agricultural inputs used, such as biofertilizer, bat guano, potassium soap, molasses, and diatomaceous earth on the cultivated vegetables, did not alter the salinity and pH conditions of the soil.

Key words: sustainable agriculture, agroecology, *Cajanus cajan*, vegetables, low deciduous forest.

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo evaluar los componentes de un sistema agroforestal establecido en la Unidad de Estudios Superiores Amatepec, Estado de México. El sistema agroforestal (SAF), cuenta con una superficie de 391 m^2, se ubicaron 33 plantas a dos metros de distancia en dos curvas de nivel con longitud de 20 y 44 metros lineales con separación de seis metros, se elaboraron ocho camas agroecológicas de dimensiones de 3 m de largo x 1.5 m de ancho, se les incorporó pasto y 133 kg de composta la cual mostró pH de 7.58, carbono orgánico 4.71% y materia orgánica 8.12%, que de acuerdo con la NMX-AA-180-SCFI-2018 se clasifica dentro del tipo III, se trasplantaron 40 plántulas de tomate verde de cáscara, se sembró semilla de rábano chico y de *Cajanus cajan* sobre suelo desnudo. Se obtuvieron 200 litros de biofertilizante y se determinaron sus propiedades físico-químicas. Se monitorearon la T °C, sólidos disueltos totales (dS/m) y pH

*Autor de correspondencia
Email: ricardo.telles@umb.mx
ISSN 2594-0384 (Electrónica)

del suelo dentro y fuera de las camas agroecológicas. Se monitoreó la precipitación (mm) con pluviómetro analógico. Se tomaron datos de altura (cm), diámetro del cuello (mm), número de flores/planta, número hojas/planta, número frutos/planta, largo hoja (cm), ancho hoja (cm), diámetro de bulbo (mm), peso (g) y días de trasplante y se determinó el Índice de Robustez para *C. cajan*. La T °C del suelo dentro de las camas mostró 27.0 °C y fuera 27.4 °C en promedio. La precipitación promedio fue de 8.3 mm durante el periodo de monitoreo. El tomate verde de cáscara a los 77 días de trasplante mostró frutos maduros. El bulbo del rábano mostró madurez a los 34 días de siembra. *C. cajan* mostró una adaptación en su crecimiento a las condiciones del sitio. Las especies forestales plantadas en el SAF, mostraron incremento en su crecimiento tanto en altura como en diámetro del cuello, así como un IR óptimo para su supervivencia en campo. Los insumos agrícolas empleados como el biofertilizante, guano de murciélago, jabón potásico, melaza y tierra de diatomeas sobre las hortalizas cultivadas no modificaron las condiciones de salinidad y pH del suelo.

Palabras clave: agricultura sostenible, agroecología, *Cajanus cajan*, hortalizas, selva baja caducifolia.

Introducción

Los sistemas agroforestales (SAF), son arreglos o conjunto de componentes, unidos o relacionados de tal manera que forma una entidad organizada con el propósito de usar recursos naturales para obtener productos y beneficios agrícolas, forestales o animales, este sistema es dinámico y las condiciones de los componentes y sus interacciones cambian a través del tiempo (Arcos, 1994 citado por Calero *et al*., 2018); las asociaciones agroforestales tienen el potencial de optimizar el uso de recursos, fomentar la biodiversidad y asegurar un futuro más viable para estas comunidades rurales (Muñoz-Rengifo *et al*., 2025).

Es necesario identificar y establecer modelos agroforestales que reúnan elementos comunes articulados y jerárquicos de manera que se facilite el conocimiento de las funciones de los sistemas (Nair, 1985; UMCA, 2006). Algunos de los modelos más comunes son: árboles asociados con cultivos perennes, árboles en asociación con cultivos anuales, sistemas silvopastoriles, cortinas rompevientos, plantaciones con árboles en los linderos, cercas vivas, agrobosques o fincas forestales y forestería análoga (Farfán, 2012).

A nivel internacional se han realizado estudios tendientes a la evaluación de los sistemas agroforestales como lo realizado en Ecuador por Piedrahíta *et al*. (2019), quienes proponen un diseño compuesto por cacao como cultivo principal, caoba (*Swietenia macrophylla* K.), como especie maderable, guaba (*Inga edulis* M.), como especie frutal, centrosema (*Centrosema macrocarpum* B.), como especie de cobertura y de protección del suelo y guadua como especie de barrera viva; Vasconcellos y Beltrão (2018), indican que los SAF podrían ofrecer servicios ecosistémicos relacionados con la protección del hábitat y el suministro de materias primas, siempre que la organización de sus individuos arbóreos favoreciera una alta cantidad de biomasa y biodiversidad por hectárea además de otros servicios, como el aporte de carbono al suelo, la reducción de la erosión y la evapotranspiración.

A nivel nacional la investigación en SAF es amplia y se considera antigua, destacan los estudios realizados por Muñoz *et al*. (2014), quienes evaluaron los componentes tanto agrícolas como forestales en dos módulos establecidos con la modalidad de cultivo en callejones en Michoacán, determinaron que el espaciamiento óptimo para el establecimiento de plantaciones agroforestales en la Sierra Purépecha es de 2.5 x 4.0 m, y al utilizarlo en callejones es posible obtener una producción mixta. Por su parte, Rodríguez Serrano *et al*. (2016), evaluaron la influencia de los árboles de olivo asociados con maíz sobre los indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad de suelo en Texcoco, Estado de México, determinaron que el SAF presentó menores porcentajes de capacidad de campo y punto de marchitez permanente, favoreció mejores condiciones para el desarrollo de la actividad microbiana y la presencia de mesofauna, redujo valores de escurrimiento y pérdida de suelo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar los componentes de un sistema agroforestal establecido en la Unidad de Estudios Superiores Amatepec, Estado de México, México.

Materiales y métodos

Área de estudio

El Sistema Agroforestal (SAF), se estableció en invierno de 2024 sobre una superficie de 391 m^2 dentro de la Unidad de Estudios Superiores Amatepec, ubicada en la localidad de Palmar Chico, municipio de Amatepec, Estado de México (Figura 1), a una altitud promedio de 777 msnm. El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, de

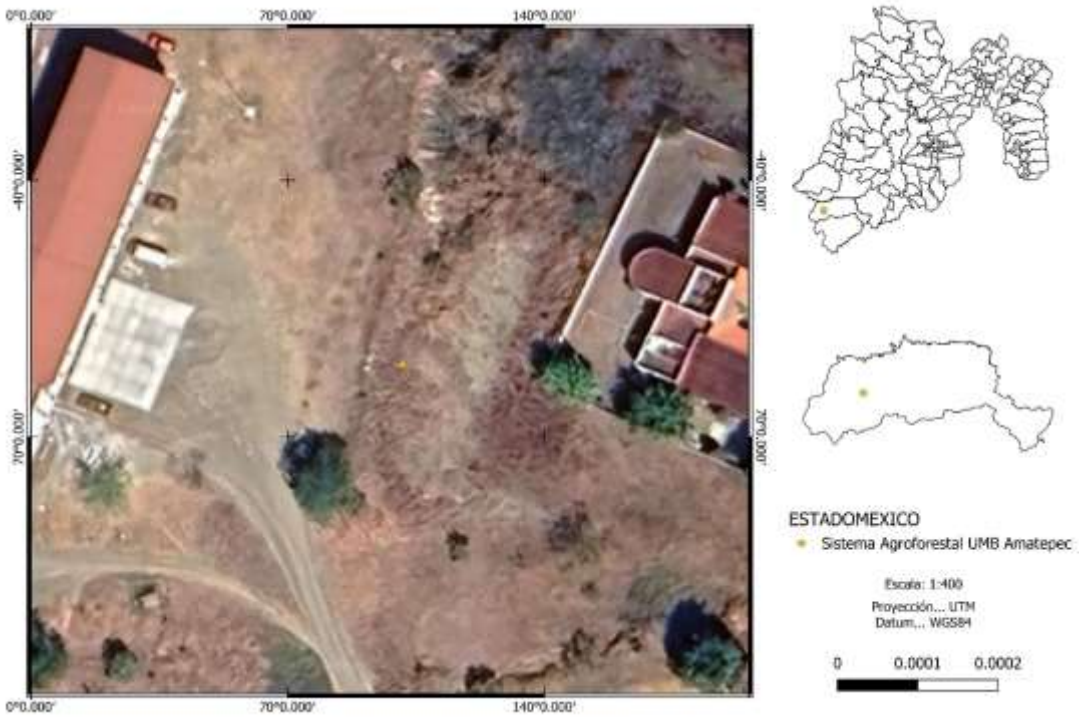


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

humedad media (Aw1) (García, 2004). El tipo de suelo predominante es Phaeozem háplico (INEGI, 2020).

Elaboración de composta

Se recurrió a la metodología propuesta por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2022), donde se indica que la composta es un abono resultado de un proceso de biodegradación de materia orgánica llevado a cabo por múltiples organismos y microorganismos descomponedores que comen, trituran y degradan las moléculas de ésta bajo condiciones aerobias.

Elaboración de biofertilizante

Se consideró la metodología propuesta por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2022), donde se indica que el supermagro es un biofertilizante líquido, obtenido mediante una fermentación anaeróbica (sin presencia de oxígeno); actúa como nutriente vegetal y puede utilizarse en todas las etapas fenológicas de los cultivos.

Elaboración de jabón potásico

Se retomó la metodología propuesta por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (2017), donde se indica que el jabón potásico es un insecticida y acaricida que combate eficazmente al pulgón, la mosca blanca, los trips y la araña roja, entre otros insectos; sin toxicidad para el ser humano y otros animales.

Construcción de camas agroecológicas

Se consideró la metodología propuesta por (Suchini *et al*., 2017), quienes indican que una cama alta es un pequeño pedazo de terreno en que la tierra es removida a una profundidad de 60 cm, así la tierra queda suelta y levantada. Se realizaron ocho camas agroecológicas con dimensiones de 1.50 m de ancho por 3 m de largo dentro del SAF.

Siembra y trasplante

Se colectaron semillas de *Crescentia alata* Kunth., *Dalbergia* spp., *Ipomea murucoides* Roem. & Schult. y *Swietenia humilis* Zucc., durante el mes de abril de 2024, las plántulas fueron producidas en el vivero de la UES Amatepec. Se trazaron dos curvas de nivel con una longitud de 20 y 44 metros lineales con una separación de seis metros, la plantación se realizó en octubre del 2024, se ubicaron 33 plántulas a dos metros de distancia dentro del SAF y en el mes de mayo de 2025 se establecieron ocho

individuos de *C. alata*, *Bauhinia variegata* L y *Vitex mollis* Kunth (Tabla 1).

El trasplante de *Solanum lycopersicum* (tomate cáscara morada) (Golden Vegetables Seeds ®), se realizó el 12 de mayo de 2025, se adquirió semillas de *Raphanus sativus* (rábano champion) (Golden Vegetables Seeds ®), y la siembra se realizó el 24 de junio de 2025, sobre las camas agroecológicas establecidas dentro del SAF.

La semilla de *Cajanus cajan* (L.) Millsp proviene del Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal (ICAMEX); la siembra se realizó el 09 de junio de 2025, se hizo de forma manual directa al suelo, depositando de 2-3 semillas en el suelo a una profundidad de 4-5 cm (Mateo *et al*., 2023), sobre un área aledaña a las camas agroecológicas, el control de herbáceas se realizó de forma manual.

Descripción de variables abióticas

Las variables abióticas a considerar fueron:

*Monitoreo de T °C de composta con termómetro Elitech®. El proceso de compostaje se inició el día 19 de abril de 2025, la lectura de la T °C se realizaba por las mañanas.

*Propiedades físico-químicas de composta (NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002; Salcedo-Pérez *et al*., 2019)).

*Propiedades físico-químicas de biofertilizante (NOM 113-SSA1-1994).

*Monitoreo de T °C del suelo dentro de las camas y fuera de las camas a una profundidad de 10 cm

*Monitoreo de la precipitación (mm), con un pluviómetro analógico con capacidad de 40 mm TFA®.

*Monitoreo de sólidos disueltos totales (dS/m), del suelo dentro de las camas y fuera de las camas con medidor de TDS digital portátil.

*Monitoreo de pH del suelo dentro de las camas y fuera de las camas con medidor de pH digital portátil.

Registro de variables para las especies forestales

1.- Los datos que se tomaron en cuenta son: mediciones dasométricas (altura (cm), diámetro del cuello (mm), índice de robustez (IR) y sobrevivencia de la plantación (%), durante la estación de primavera y verano de 2025.

Variables. - Las variables constituyen características objetivas y medibles de las plantas y se registran durante el inventario con el fin de poder caracterizar a la vegetación, las cuales se describen a continuación:

a). - Especie: El registro de las especies vegetales es el principal dato que se levanta en todo tipo de inventario que involucre a la vegetación. Consiste en el registro de la totalidad de los individuos identificados taxonómicamente que pertenecen a la unidad muestral de un determinado tipo de vegetación.

b). - Altura: La altura es una variable muy importante que se mide a las diferentes formas de vida vegetal: árboles, palmeras, arbustos, cañas, suculentas y herbáceas. Para el caso de árboles, pueden ser de dos clases:

b.1). - Altura total: Medida considerada desde el suelo hasta la cima de su copa o corona.

b.2). - Altura del fuste: Medida del árbol desde el suelo hasta el inicio de la ramificación. Se utiliza para estimar el volumen maderable, biomasa y carbono.

Tabla 1. Nombre científico de las especies establecidas en el SAF.

2024	No. de plantas	2025	No. de plantas
Crescentia alata	17	*Crescentia alata*	2
Dalbergia spp	3	*Bauhinia variegata*	5
Ipomea murucoides	1	*Vitex mollis*	1
Swietenia humilis	12		
Total	33		8

c). - Diámetro del cuello: El diámetro del cuello de los árboles, helechos arbóreos y palmeras arborescentes es medido exactamente a nivel del suelo (mm) desde la base del tallo de forma manual con un vernier milimétrico (Alanís *et al*., 2008).

d). - Índice de robustez: También conocido como índice de esbeltez, define la relación entre la altura de la planta (cm), y el diámetro del cuello (mm). Se determinó a través de la ecuación:

$$IR = \frac{Altura\ (cm)}{Diámetro\ del\ cuello\ de\ la\ raíz\ (mm)}$$

e). - Sobrevivencia de la plantación: La evaluación de la sobrevivencia permite obtener una medida cuantitativa del éxito de la plantación bajo la influencia de los factores del sitio. El valor que se desea conocer es la proporción de árboles que están vivos respecto a los árboles efectivamente plantados o la densidad mínima establecida o autorizada, si

esta es mayor; la medición se hace en cada árbol. Se utilizó la siguiente ecuación propuesta por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2010) y empleada por Mata-Balderas *et al*. (2024), para calcular la supervivencia:

$$\%S = \left(\frac{pi}{p\ (N)}\right) * N$$

Donde:
%S = Porcentaje de supervivencia
pi = Número de plantas vivas
p(N) = Número de plantas contadas por cada línea de muestreo
N = Número de líneas de muestreo

Registro de variables de hortalizas
1.- Los datos que se tomaron en cuenta para tomate son: Altura (cm), No. Flores/Planta, No. Hojas/Planta, No. Frutos/Planta, Peso (g) y días de trasplante. Las variables se registraron a los 67, 77 y 84 días después del trasplante. La muestra consistió de 15 plantas (Acosta-Almánzar, 2012).
2.- Los datos que se tomaron en cuenta para rábano son: Largo Hoja (cm), Ancho Hoja (cm), Dm Bulbo (mm), Peso (g) y días de trasplante. Las variables se registraron a los 24, 34 y 41días después de la siembra. La muestra consistió de 15 plantas (Acosta-Almánzar, 2012).
Registro de variables de Cajanus cajan
1.- Los datos que se tomaron en cuenta para *C. cajan* son: Dm (mm), Altura (cm), IR, No. Hojas trifoliadas a los 38, 45 y 60 días después de la siembra. La muestra consistió de 30 plantas (Mendoza-Pedroza *et al*., 2023).

Análisis de la información
Se analizó la asociatividad de las variables dasométricas de las especies forestales mediante la prueba de *t-Student*; para las hortalizas y *C. cajan*, se realizó un análisis de varianza (procedimiento ANOVA), de un factor y, posteriormente, a las variables que presentaron diferencia significativa, se les aplicó la prueba de medias de *Tukey* ($p < 0.05$), como comparador múltiple; para verificar posibles diferencias significativas entre las variables (Rubio y Berlanga, 2012), calculadas en el programa estadístico PAST 4.03 (Hammer y Harper, 2001).

Resultados y discusión

La temperatura promedio de la composta fue de 31.54 °C, con una máxima de 38.60 °C y una mínima de 26.50 °C (Figura 2). La temperatura fue menor a la reportada en otros estudios que es de 45 – 50 ºC. Medina-Saavedra *et al*. (2016), citados por Mendivil-Lugo *et al*. (2020), recomiendan que no debe exceder los 50 ºC; además citan a Restrepo *et al*. (2014), quienes sugieren que la temperatura no debe exceder los 60 ºC, para evitar la desnaturalización de nutrimentos.
Las propiedades físico-químicas de la composta mostraron un valor de pH de la composta fue de 7.58, el contenido de carbono orgánico de 4.71% y de materia orgánica de 8.12%, que de acuerdo con la NMX-AA-180-SCFI-2018 se clasifica dentro del tipo III (Tabla 2). Mendivil-Lugo *et al*., 2020 citan a Castro *et al*. (2009), quienes aluden que 1 kg de abono de buena calidad debe contener entre 20–24

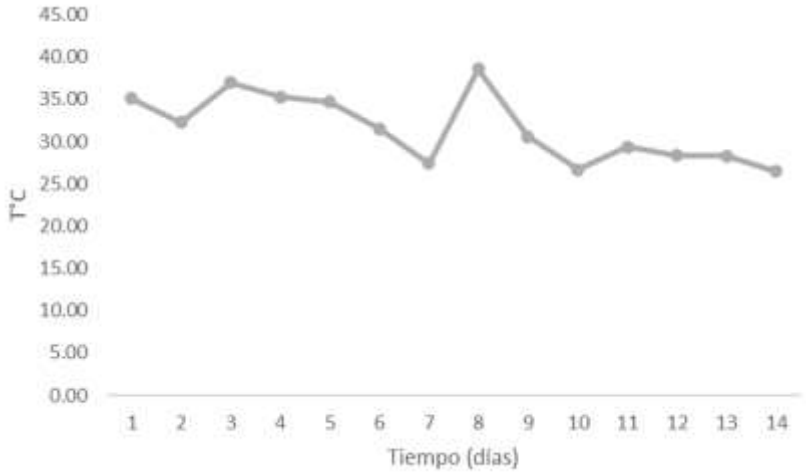


Figura 2. Monitoreo de T en °C de composta.

% de materia orgánica, 1.2–1.8 % de N, 0.3–0.5 % de P y 1.0–2.0 % de K; de acuerdo con los resultados de los parámetros químicos de la composta elaborada en la UES Amatepec, a excepción del contenido de nitrógeno total que fue de 1.22 %, los demás parámetros se encuentran por debajo a los indicado por Castro *et al*. (2009). El resultado de análisis microbiológico de la composta no muestra coliformes fecales.

Las características físico-químicas del biofertilizante se muestran en la tabla 3. González-Márquez *et al*. (2021), citan a Quiñones-Ramírez *et al*. (2016), quienes proponen que los abonos orgánicos elaborados de manera artesanal deben ser ricos en nutrientes, con concentraciones mayores a 700 mg L para N, 170 mg L en P y un rango de 1300 mg L, 1800 mg L de K respectivamente e indican que el pH ideal en una solución de nutrientes se encuentra en el rango de 5 y 6; respecto a la conductividad eléctrica citan a Yepes y

Tabla 2. Propiedades físico-químicas de composta.

Parámetro	Unidad de medida	Resultado	Clasificación NMX-AA-180-SCFI-2018	Clasificación NMX-AA-180-SCFI-2018. Tipo	Clasificación NOM-021-RECNAT-2000
pH	U pH	7.58	6.7-8.5	III	Medianamente alcalino 7.4-8.5
Carbono Orgánico	%	4.71	Mínimo 10 %	III	
Materia Orgánica	%	8.12	≥20 % MS	III	Muy alto >6.0
Nitrógeno total	%	1.22	1%-3% MS	II	Alto 0.15-0.25
Fósforo P	mg/kg	797.19	--	--	Alto >11
Potasio K	mg/kg	5576.63	--	--	Alto mayor 0.6
Calcio Ca	mg/kg	3089.99	--	--	Alto mayor 10
Magnesio Mg	mg/kg	831.16	--	--	Alto mayor 3
Sodio Na	mg/kg	124.2	--	--	--
Cobre Cu	mg/kg	3.25	--	--	Adecuado >0.2
Zinc	mg/kg	8.11	--	--	Adecuado >1.0
Cromo Cr	mg/kg	N/D	--	--	--
Níquel Ni	mg/kg	N/D	--	--	--
Plata Ag	mg/kg	N/D	--	--	--

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos de biofertilizante.

Parámetro	Unidad de medida	Resultado
pH	U de pH	5.89
Conductividad eléctrica	dS/m	0.00904
Carbonatos	mg CaoCO3/L	No detectados
Bicarbonatos	mg CaoCO3/L	3869.2
Alcalinidad	mg CaoCO3/L	3869.2
Ca	mg/L	244.64
Mg	mg/L	170.89
Na	mg/L	90.67
K	mg/L	2775.56
P	mg/L	26.84
Dureza total	mg/L	1314.59
N. T. K	mg/L	182.94
Fe	mg/L	10.69
B	mg/L	3.6

Flórez (2013), quienes mencionan que valores bajos de CE facilita el manejo de fertilización ya que no se consideran fitotóxicos para la utilización en la agricultura.

Los resultados de análisis bacteriológico del biofertilizante de acuerdo con la NOM 113-SSA1-1994 (Norma Oficial Mexicana, 1994) no muestra coliformes fecales.

En la tabla 4 se presentan los resultados sobre análisis de metales pesados del biofertilizante de acuerdo con la NOM-052-SEMARNAT-2005.

Se establecieron ocho camas agroecológicas con un área de 91 m^2, con dimensiones de 3 m de largo por 1.5 m de ancho entre dos curvas a nivel separadas a seis metros con una pendiente calculada de 30% dentro del SAF. Se obtuvieron 1064 kg de composta, a cada cama agroecológica se agregaron 133 kg.

Se registraron 24 lecturas de T °C del suelo dentro de las camas con un promedio de 27.0 °C y fuera de las camas con un promedio de 27.4 °C a una profundidad de 10 cm respectivamente, en la figura 3 se muestra la tendencia de la temperatura en los sitios de muestreo.

Se registraron 32 lecturas de agua caída en forma de precipitación (mm), dentro del SAF, el promedio fue de 8.3 mm con una máxima de 52 mm y una mínima de 0 mm durante el periodo de monitoreo (Figura 4).

Se registraron ocho lecturas de sólidos disueltos totales (dS/m), dentro del SAF, el promedio dentro de las camas fue de 0.082 (dS/m) y fuera de camas fue de 0.077 (dS/m), el resultado de la prueba t no muestra diferencia estadística (Figura 5).

Tabla 4. Análisis de metales pesados de biofertilizante.

Parámetro	Unidad de medida	Resultado	Límites máximos permisibles NOM-052-SEMARNAT-2005
Cadmio	mg/L	<0.05	1.0
Cobre	mg/L	<0.2	--
Cromo	mg/L	No detectado	5.0
Niquel	mg/L	0.53	--
Zinc	mg/L	0.22	--
Manganeso	mg/L	17.89	--
Plomo	mg/L	0.26	5.0
Plata	mg/L	<0.1	5.0

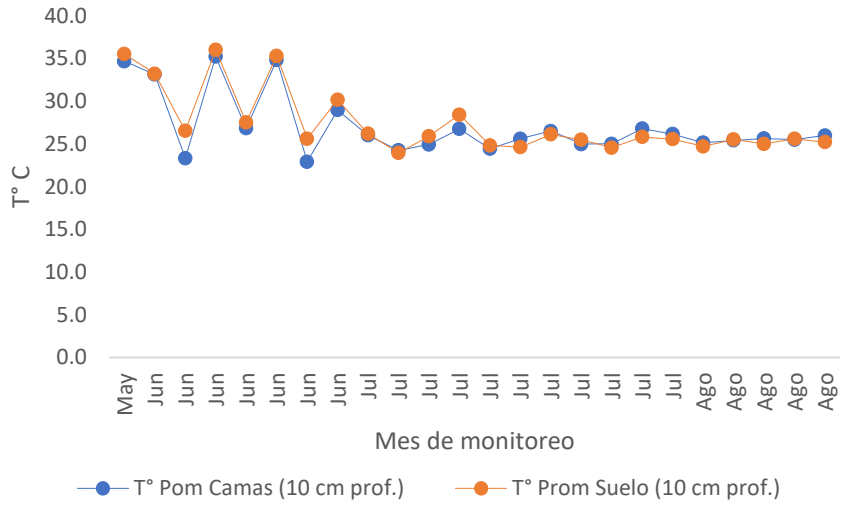


Figura 3. Monitoreo de T ° C de suelo dentro de camas y fuera de camas.

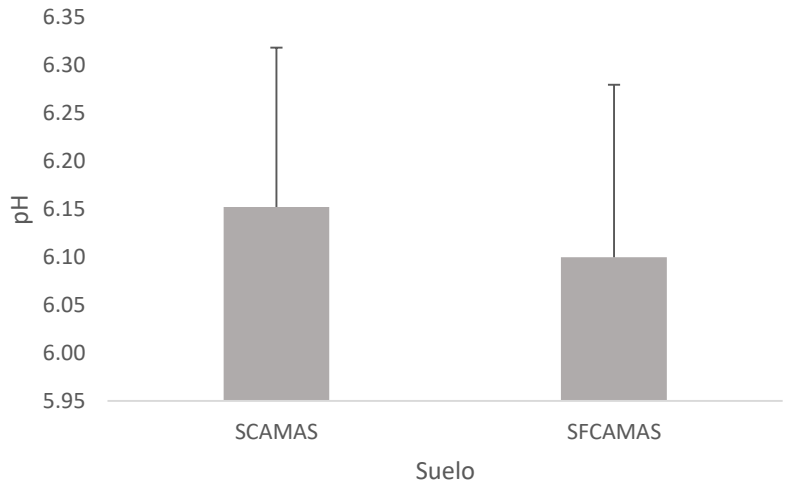


Figura 4. Monitoreo de agua caída en forma de precipitación (mm).

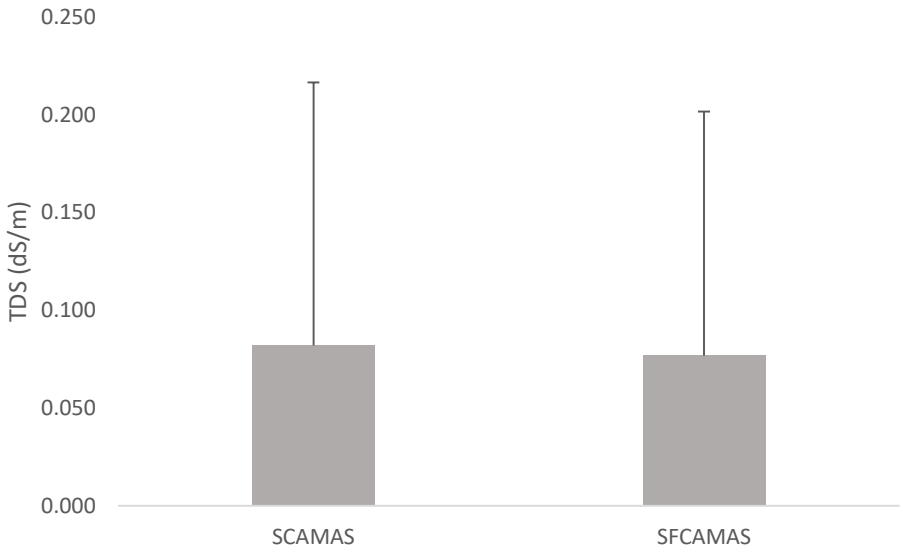


Figura 5. Monitoreo de sólidos disueltos totales en suelo del SAF (dS/m).

Se registraron ocho lecturas de pH dentro del SAF; el promedio dentro de las camas fue de 6.15 y fuera de las camas fue de 6.10; el resultado de la prueba t no muestra diferencia estadística (Figura 6).

Evaluación de especies forestales

La supervivencia de las especies forestales establecidas en octubre de 2024 fue de 82.35 %, 100 % y 41.67 % para *C. alata*, *I. murucoides* y *S. humilis*. Las establecidas en mayo de 2025 muestran una supervivencia del 100%.

De acuerdo con la evaluación de campo durante la estación de primavera 2025 se realizaron cuatro mediciones y en verano de 2025 se realizaron ocho mediciones de las variables dasométricas para determinar el crecimiento de los individuos (Tabla 5 y 6).

Respecto al diámetro del cuello (mm), de *C. alata* establecido en 2024, medido durante primavera y verano de 2025 muestra diferencia estadística ($p= 0.01475$), y mostró un incremento de 2.32 mm, además los promedios obtenidos de la especie fueron mayores a 5 mm por lo que son más resistentes al doblamiento y toleran mejor los daños por plagas y fauna nociva tal como lo indican Mexal y Landis (1990). La altura (cm), presentó un incremento de 5 cm sin diferencia estadística ($p=$

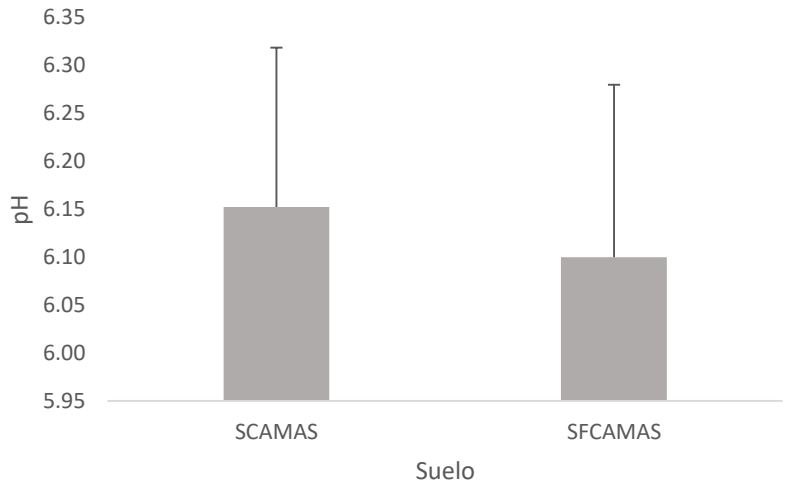


Figura 6. Monitoreo de pH en suelo del SAF.

Tabla 5. Dimensiones de especies forestales establecidas en el SAF en 2024.

Primavera				Verano		
Especie	*Medias			*Medias		
	Diámetro del cuello (mm)	Altura (cm)	IR	Diámetro del cuello (mm)	Altura (cm)	IR
C. alata	7.19±2.21	38.39±9.84	5.60±1.54	9.51±2.48	43.91±11.99	4.71±1.05
I. murucoides	43.67	108.20	2.48	52.50	115.63	2.20
S. humilis	7.27±2.25	46.60±11.29	6.56±1.02	9.55±3.40	53.00±91.71	5.85±1.11

*Medias (± Desv. estándar).

Tabla 6. Dimensiones de especies forestales establecidas en el SAF en 2025.

Primavera				Verano		
Especie	*Medias			*Medias		
	Diámetro del cuello (mm)	Altura (cm)	IR	Diámetro del cuello (mm)	Altura (cm)	IR
C. alata	3.83±1.10	5.45±0.92	1.45±0.21	5.36±1.92	11.28±2.96	2.36±1.40
B. variegata	--	--	--	2.99±0.71	21.66±2.48	7.44±1.18
V. mollis	1.67	12.47	7.48	2.75	14.28	5.19

0.1874). El índice de robustez no denota diferencia estadística en los dos periodos de medición, (*p= 0.0841*), su valor obtenido es menor a 6, tal como lo recomiendan Prieto *et al*. (2003), además Cuevas (1995), señala que este valor estima el grado de resistencia de las plantas a factores adversos (Figura 7).

El diámetro del cuello (mm), de *S. humilis* medido en primavera y verano de 2025 no muestra diferencia estadística (*p= 0.2453*); manifestó un incrementó de 2.28 mm, los promedios obtenidos son mayores a 5 mm, por lo anterior se puede decir que la planta es resistente al doblamiento y tolera mejor los daños por plagas y fauna nociva (Mexal y Landis, 1990). La altura (cm), mostró un incremento de 6.4 cm sin diferencia estadística (*p= 0.3644*). El índice de robustez sólo en la estación de verano mostró un valor por debajo de 6 sin diferencias estadísticas (*p= 0.3187*) (Figura 8).

Evaluación de hortalizas

Los resultados de las medias de las variables de tomate colectadas a los 67, 77 y 84 días se muestran en la tabla 7. A los 77 días de trasplante se cosecharon frutos con peso promedio de 76.65 (g). La altura y el número de hojas por planta de tomate trasplantado en el SAF muestra un promedio mayor a lo reportado por Senés-Guerrero *et al*. (2019), quienes obtuvieron una altura en promedio, según el tratamiento, en un rango de 3.4 a 39.8 cm, bajo T1 que consistió de lixiviado de vermicomposta (25%), microorganismos (2.5%), y agua (72.5%); y T2 que consistió de lixiviado de vermicomposta (25%),

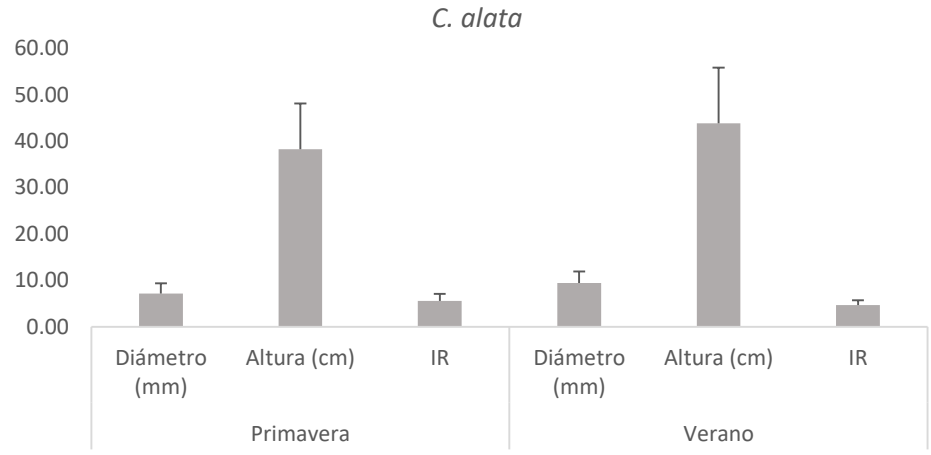


Figura 7. Variables dasométricas de *C. alata* medidas durante primavera y verano 2025.

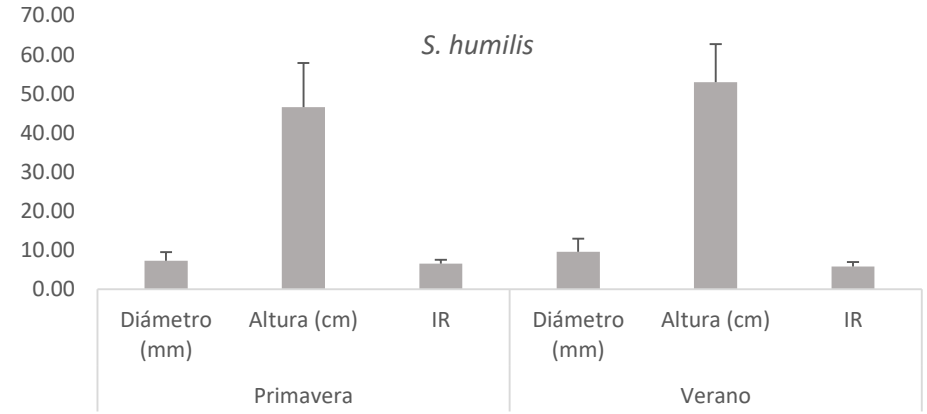


Figura 8. Variables dasométricas de *S. humilis* medidas durante primavera y verano 2025.

Tabla 7. Comparación de medias por análisis de varianza de las variables de tomate trasplantado en el SAF.

Variable	*Medias	Pr>F
Altura (cm)	56.14±15.22	0.1428
No. Flores/Planta	7.84±8.31	0.9277
No. Hojas/Plantas	126.87±150.09	0.0692
No. de Frutos/Planta	4.51±15.54	0.6041

*Medias (± Desv. estándar).

microorganismos (2.5%), fertilizante químico (NPK) (65%) y agua (7.5%) en macetas en invernadero.

Los resultados de las medias de las variables de rábano colectadas a los 24, 34 y 41 días se muestran en la tabla 8. A los 34 días de siembra se cosecharon frutos con diámetros promedio de 2.57 cm y peso promedio de 10.33 (g). El número de hojas/planta de rábano sembrado en el SAF muestra un promedio mayor en comparación con Mendivil-Lugo *et al*. (2020), quienes obtuvieron 2.66 hojas/planta sembrada en suelo agrícola.

Evaluación de C. cajan

Los resultados de las medias de las variables de *C. cajan*, colectadas a los 38, 45 y 60 días y analizadas a través del análisis de varianza, se muestran en la tabla 9.

Por su parte, Mendoza-Pedroza *et al*. (2023),

Tabla 8. Comparación de medias por Tukey de las variables de rábano en el SAF.

Variable	*Medias	Pr>F
No. de hojas	4.15±1.31	0.2004
Largo hojas (cm)	9.92±4.57 bc	0.0000
Ancho de hojas (cm)	3.85±1.60 bc	0.0000

*Medias (± Desv. estándar). Letras distintas en hileras indican diferencias significativas entre las muestras, determinadas mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Tabla 9. Comparación de medias por Tukey de las variables de *C. cajan* en el SAF.

Variable	***Medias**	**Pr>F**
Diámetro del cuello (mm)	2.69±1.09 abc	0.0000
Altura (cm)	44.72±21.05 abc	0.0000
Índice de Robustez	17.03±5.94	0.2331
No. de hojas trifoliadas	10.16±3.59 abc	0.0000

*Medias (± Desv. estándar). Letras distintas en hileras indican diferencias significativas entre las muestras, determinadas mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

evaluaron a los 38, 45 y 60 días el crecimiento de *C. cajan* en condiciones de laboratorio e indican diferencias significativas respecto a las variables altura, diámetro y número de hojas trifoliadas.

La altura de *C. cajan* sembrado en el SAF es mayor respecto a lo reportado por Mendoza-Pedroza *et al*. (2023), y citan que en el caso de la producción de planta forestal se sugiere usar individuos de menor altura porque se consideran más robustos, menos sensibles al daño eólico, tolerantes a la sequía y heladas (Luis *et al*., 2004).

El diámetro del cuello de *C. cajan* sembrado en el SAF es menor con referencia a lo señalado por Mendoza-Pedroza *et al*. (2023), e indican que mayor diámetro del cuello de la raíz podría emplearse como guía para determinar la resistencia mecánica de la planta y su capacidad para transportar agua y nutrientes de la raíz a la parte aérea.

El No. de hojas trifoliadas de *C. cajan* sembrado en el SAF es mayor a lo demostrado por Mendoza-Pedroza *et al*. (2023), y citan que el número de hojas se relaciona con la capacidad fotosintética de la planta, que posterior al trasplante podría reflejarse en mayor vigor y rendimiento (Gallegos-Cedillo *et al*., 2021), debido a que las plantas podrían acumular más materia seca.

El índice de robustez de *C. cajan* mostró un comportamiento superior 10 por lo que se pueden considerar frágiles y propensas a quebrarse (Pérez-González *et al*., 2012 citados por Mendoza-Pedroza *et al*. (2023).

Conclusiones

Las temperaturas en °C dentro del SAF, muestraron una variación conforme a las condiciones meteorológicas del sitio de estudio, dentro de las camas agroecológicas se mantuvieron ligeramente por debajo que las registradas en suelo fuera de las camas agroecológicas, lo anterior se puede atribuir a que se adicionaron las camas con restos de pasto seco y composta, lo cual puede mejorar las condiciones de retencion de humedad además de propiciar confort al sistema radical.

Los valores de conductividad eléctrica (dS/m), y de pH evaluados dentro del SAF, se mantuvieron ligeramente similares, lo anterior indica que las dosis aplicadas de insumos agrícolas tales como composta, biofertilizante, guano de murciélago, jabón potásico, melaza y tierra de diatomeas sobre las hortalizadas cultivadas no modifican las condiciones de salinidad ni de pH.

El promedio de precipitación fue de 8.3 mm, ésta no fue constante por lo que fue necesario aplicar riegos de auxilio.

Las especies forestales plantadas en 2024 dentro del SAF, muestran un incremento en su crecimiento tanto en altura como en díametro del cuello, así como un índice de robustez óptimo para su supervivencia en campo

El tomate a los 77 días de trasplante muestra frutos con una madurez fisiológica y morfológica óptima para cosecha, lo anterior de acuerdo con las condiciones agroedafoclimáticas del sitio de estudio.

El rábano a los 34 días de siembra muestra frutos con una madurez fisiológica y morfológica óptima para cosecha, lo anterior de acuerdo con las condiciones agroedafoclimáticas del sitio de estudio.

C. cajan muestra un crecimiento tanto en altura como en diámetro del cuello, lo anterior muestra que la especie se puede adaptar a las condiciones edafoclimáticas como las que imperan en el sitio de estudio.

El SAF implementado en la Unidad de Estudios Superiores Amatepec, Estado de México, puede generar salida de productos como forraje, granos y hortalizas de ciclo corto. Además ayuda en la recuperación de la fertilidad del suelo y genera beneficios ambientales como la captura de carbono.

Referencias

Acosta-Almánzar, H.A. 2012. Microorganismos eficientes de montaña: evaluación de su potencial bajo manejo agroecológico de tomate en Costa Rica. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica, 2012

Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, Ó., Treviño-Garza, E., Jurado-Ybarra, E., González Tagle, M.A. 2008. Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL*, 11(1), 56–62.

Arcos, M. 1994. Sistemas agroforestales: Panorama General. Ministerio de Agricultura INIA. Lima, Perú. 28 p. (Boletín Técnico, no. 1).

Calero, A.S., Betancourt, H., Montero-Cruz, A.O., Virginio-Filho, E.D.M. 2018. Fragilidad de los suelos en la Amazonía ecuatoriana y potenciales alternativas agroforestales para el manejo sostenible. Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana, N° 2. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Central Amazónica.

Castro, A., Henríquez, C., Bertsch, F. 2009. Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 33(1): 31-43.

CONAFOR. 2010. Manual básico de Prácticas de reforestación.

Cuevas-R., R.A. 1995. Calidad de planta. *In*: Viveros Forestales. Pub. Esp. No.3. Centro de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP. México D.F. 112 p.

Farfan, V.F. 2012. Árboles con potencial para ser incorporados en sistemas agroforestales con café. Espacio Gráfico S.A. ©FNC-Cenicafé – 2012.

Gallegos-Cedillo V.M., Diánez, F. Nájera, C., Santos, M. 2021. Plant agronomic features can predict quality and field performance: a bibliometric analysis. *Agronomy*, 11:1-32, https://doi.org/10.3390/agronomy11112305

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/1372 (Consultado: febrero 25, 2025).

González-Márquez, L.C., Félix-Gastélum, R., Sandoval-Romero, J.A., Escobedo-Urías, D.C., Longoria-Espinoza, R.M. 2021. Caracterización de biofertilizantes utilizados en el valle agrícola de Guasave, Sinaloa, México. *Terra Latinoamericana*, 39.

Hammer, Ø., Harper, D.A. 2001. Past: paleontological statistics software package for educaton and data anlysis. *Palaeontologia electronica*, 4(1), 1.

INEGI. 2020. Compendio de información municipal Amatepec 2020. Amatepec, Estado de México Clave geoestadística 15008. Disponible en: http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx?ag=15018 (Consultado: febrero 25, 2025).

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 2017. Paso a paso, preparación de Jabón Potásico. Ficha Técnica 16. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. Disponible en: https://share.google/V8AjQmtwdJ5yY5oYB (Consultado: marzo 10, 2025).

Luis-V, C., Peters, J., González–Rodríguez, A.M., Jiménez, M.S., Morales, D. 2004. Testing nursery plant quality of Canary Island pine seedlings grown under different cultivation methods. *Phyton*, 44:231–244.

Mata-Balderas, J.M., Alanís-Rodríguez, E., Sarmiento-Muñoz, T.I., Rodríguez-Alejandro, E.S., Garza-Pérez, A.C. 2024. Supervivencia y crecimiento de una reforestación de seis especies del matorral espinoso tamaulipeco en el noreste de México. *Polibotánica*, (58), 135-147.

Mateo-Suero, B.F., Oviedo, F., Cedano, J. 2023. Evaluación de cultivares de guandul [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] sensibles al fotoperíodo en la provincia San Juan, República Dominicana. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 10(3), 21-28.

Medina-Saavedra, T., Arroyo-Figueroa, G., Martínez-Pérez, I., Vargas-Rodríguez, L. 2016. Fertilizante orgánico bocashi en germinación de semillas de mezquite (*Prosopis glandulosa*). *Ciencia y Tecnología. Agropecuaria México*, 4(2): 20-30.

Mendivil-Lugo, C., Nava-Pérez, E., Armenta-Bojórquez, A.D., Ruelas-Ayala, R.D., Félix-Herrán, J. A. 2020. Elaboración de un abono orgánico tipo bocashi y su evaluación en la germinación y crecimiento del rábano. *Biotecnia*, 22(1), 17-23. Epub 03 de agosto de 2020. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i1.1120

Mendoza-Pedroza, S.I., Méndez-Gaona, E., Pérez-Cruz, K.U., Hernández-Livera, A., Escalante-Estrada, J.A.S., Domínguez-Martínez, P.A. 2023. Tamaño de semilla y su efecto sobre el crecimiento de plántulas de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(4A), 497-497.

Mexal, J.G., Landis, T.D. 1990. Target seedling concepts: Height and diameter. In: Rose R., S.J. Campbell & T.D. Landis (eds.) Target seedling symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations. GTR RM-200. USDA, Forest Service. USA. p. 17-36.

Muñoz-Flores, H.J., García-Magaña, J.J., Orozco-Gutiérrez, G., Coria-Ávalos, V.M., Martínez-Cruz, Á. 2014. Evaluación de dos módulos agroforestales con cultivo en callejones en la sierra purépecha, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(22), 40-57.

Muñoz-Rengifo, J.C., Zambrano, M.N.M., Luna, M., Pérez, J.J.R., Heredia, M., Navarrete, S.B.T. 2025. Sostenibilidad en sistemas agroforestales: Casos de estudio del Cantón Santo Domingo. *Siembra*, 12(2), e7429-e7429.

Nair, P.K.R. 1985. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 3 (2): 97-128.

Norma Mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018. 2018. Que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales. Diario Oficial de la Federación, D. F.: SEGOB.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. 2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación.: SEGOB.

Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005. 2006. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Diario Oficial de la Federación, D. F.: SEGOB.

Norma Oficial Mexicana NOM-113-SSA1-1994. 1994. Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa. Diario Oficial de la Federación, D. F.: SEGOB.

Pérez-González G., Domínguez-Domínguez, M. Martínez-Zurimendi, P., Etchevers-Barra, J.D. 2012. Caracterización

dasométrica e índice de sitio en plantaciones de caoba en Tabasco, México. *Madera y Bosques*, 18: 7-24, https://doi.org/10.21829/myb.2012.181511

Piedrahíta, D.C., Vásquez, V.S., Torres, L.A.A., Vasquez, G.E.G. 2019. Evaluación y planificación de sistemas agroforestales sustentables de cacao (*Theobroma cacao* L.) y bambú (*Guadua angustifolia* K.), Montalvo, Ecuador. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 4(4), 10-21.

Prieto, J.A., Vera C.G., Merlín, E. 2003. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico Núm. 12. Primera reimpresión. Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP. Durango, Dgo. 24 p.

Quiñones-Ramírez, H., Trejo-Cadillo, W., Juscamaita-Morales, J. 2016. Evaluación de la calidad de un abono líquido producido vía fermentación homoláctica de heces de alpaca. *Ecología Aplicada*, 15(2), 1726-2216. http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.753

Restrepo, J.M., Gómez, J., Escobar, R. 2014. Utilización de los residuos orgánicos en la agricultura. Editado por la Fundación para la investigación y desarrollo agrícola (FIDAR), Official Development Assistance (ODA) y Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Colombia-Japón.

Rodríguez Serrano, A.C., Cristóbal-Acevedo, D., Álvarez Sánchez, E., Uribe-Gómez, M. 2016. Indicadores de calidad de un suelo para la producción de maíz bajo sistemas agroforestal y monocultivo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(SPE16), 3263-3275.

Rubio, M.J.H., Berlanga, V.S. 2012. Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS. Caso práctico. *Revista d'Innovació i Recerca En Educació*, 5(2), 83–100. DOI:
https://doi.org/10.1344/reire2012.5.2527

Salcedo-Pérez, E., Blandon-Ruiz, B.A., Hernández-Álvarez, E., González-Cruz, R., Bernabé-Antonio, A., Orozco-Guareño, E., Delgado-Fornué, E. 2019. Propiedades del suelo y nitrógeno como indicadores del crecimiento en plantaciones comerciales de teca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(52). DOI: 10.29298/rmcf.v10i52.398

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2022. Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos. 9. Composta. Estrategia de acompañamiento técnico. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.gob.mx%2Fcms%2Fuploads%2Fattachment%2Ffile%2F737324%2F9_Composta.pdf&psig=AOvVaw3zUAY_D803JplUnHF0XK5w&ust=1756130884941000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CAQQn5wMahcKEwjAku3P0qOPAxUAAAAAHQAAAAAQBA (Consultado: marzo 10, 2025).

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2022. Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos. 3. Supermagro. Estrategia de acompañamiento técnico. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.gob.mx%2Fcms%2Fuploads%2Fattachment%2Ffile%2F737330%2F3_Supermagro.pdf&psig=AOvVaw3iSaGfU7nhhBOHqYRHtflU&ust=1756131809010000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CAQQn5wMahcKEwjQrPO006OPAxUAAAAAHQAAAAAQBA (Consultado: marzo 10, 2025).

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. 2002. Norma Oficial Mexicana, Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos, Estudio, Muestreo y Análisis. Disponible en: https://www.google.com/search?rlz=1C1EJFA_enMX816MX816&ei=laUGXf6LEqaA0wKcrqf4Bg&q=Norma+Oficial+Mexicana%2C+Especificaciones+de+Fertilidad%2C+Salinidad+y+Clasificación+de+Suelos%2C+Estudio%2C+Muestreo+y+Análisis&oq=Norma+Oficial+Mexicana%2C+Esp (Consultado: junio 15, 2025).

Senés-Guerrero, C., Guardiola-Márquez, C. E. & Pacheco-Moscoa, A. 2019. Evaluación de biofertilizantes a base de microorganismos y lixiviado de vermicomposta en cultivos de interés económico en México. *Agro Productividad*, 12(3).

Suchini, J.G., Taleno, S., Soto, G. 2017. Manual para el establecimiento y manejo agroecológico de patios y huertos comunitarios. Serie técnica. Informe técnico; no. 90. 1 ed. Turrialba, C. R. CATIE. 2017.

University of Missouri Center for Agroforestry (UMCA). 2006. Training Manual for Applied Agroforestry Practices. Produced by the University of Missouri, Center for Agroforestry (UMCA). Technology Transfer and Outreach Unit. Columbia. 425 p.

Vasconcellos, R.C.D., Beltrão, N.E.S. 2018. Evaluación de la prestación de servicios ecosistémicos en sistemas agroforestales mediante indicadores ambientales. *Interações (Campo Grande)*, 19, 209-220.

Yepes, L.F., Flórez, V.J. 2013. Analysis of the electric conductivity and pH behaviors in recycled drainage solution of rose cv. Charlotte plants grown in substrate. *Agronomía Colombiana*, 31(3), 352-361.