

# SISTEMAS VERTICALES RÚSTICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EN ESPACIOS LIMITADOS: UN APORTE A LA SEGURIDAD ALIMENTARIA FAMILIAR

## RUSTIC VERTICAL HOME GARDENS FOR FOOD PRODUCTION IN LIMITED SPACES: A CONTRIBUTION TO HOUSEHOLD FOOD SECURITY

**Yax-Lopez, P., K.M. Noriega Elías, J.R. Sosof Vásquez**

SISTEMAS VERTICALES RÚSTICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EN ESPACIOS  
LIMITADOS: UN APORTE A LA SEGURIDAD ALIMENTARIA FAMILIAR

RUSTIC VERTICAL HOME GARDENS FOR FOOD PRODUCTION IN LIMITED SPACES: A CONTRIBUTION  
TO HOUSEHOLD FOOD SECURITY



## Sistemas verticales rústicos para la producción de alimentos en espacios limitados: un aporte a la seguridad alimentaria familiar

### Rustic vertical home gardens for food production in limited spaces: a contribution to household food security

Pablo Yax-Lopez, Kevin  
Manolo Noriega Elías, Jorge  
Rubén Sosof Vásquez

SISTEMAS VERTICALES  
RÚSTICOS PARA LA  
PRODUCCIÓN DE  
ALIMENTOS EN ESPACIOS  
LIMITADOS: UN APORTE A  
LA SEGURIDAD  
ALIMENTARIA FAMILIAR

RUSTIC VERTICAL HOME  
GARDENS FOR FOOD  
PRODUCTION IN LIMITED  
SPACES: A CONTRIBUTION  
TO HOUSEHOLD FOOD  
SECURITY

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 427-442. Enero 2026

DOI:

10.18387/polibotanica.61.24

Pablo Yax-Lopez / [pyax@icc.org.gt](mailto:pyax@icc.org.gt)   
<https://orcid.org/0000-0001-7719-1667>

Kevin Manolo Noriega Elías / [knoriega@icc.org.gt](mailto:knoriega@icc.org.gt)

Jorge Rubén Sosof Vásquez

*Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático  
Edificio 2 CENGICANÁ, km 92.5 carretera a Mazatenango, Santa Lucía  
Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala. C.P. 05002 Guatemala*

**RESUMEN:** La inseguridad alimentaria y nutricional de poblaciones humanas en regiones vulnerables como Guatemala, se ve afectada por diferentes factores como la pobreza estructural, malnutrición, acceso limitado a servicios de salud y alimentos, siendo agravada por fenómenos climáticos extremos y el limitado acceso a tierra para la producción de alimentos. En este estudio se evaluó el potencial productivo de sistemas verticales rústicos de producción de alimentos como una tecnología accesible para la producción de hortalizas en condiciones de espacio físico limitado, empleando recursos locales. Se probaron dos prototipos o diseños estructurales (Diseño 1: cajas de madera; diseño 2: con torres de PVC) y tres sustratos locales (gallinaza, lombricomposta y broza) en un diseño factorial para las tres especies comestibles: *Beta vulgaris*, *Spinacia oleracea* L. y *Brassica campestris* L.

Los resultados evidenciaron que el diseño estructural de producción y los sustratos influyeron en el rendimiento, observándose una interacción significativa ( $p < 0.05$ ) en la producción de *B. vulgaris*. El mayor rendimiento para esta especie fue de 329.6 kilogramos (kg) por metro cúbico ( $m^3$ ) de sustrato, empleando el diseño D2 en combinación con gallinaza. Para *S. oleracea* y *B. Campestris*, la mayor producción se obtuvo con los sustratos de lombricomposta y gallinaza (193.4 kg/ $m^3$  y 143.8 kg/ $m^3$ , respectivamente), independientemente del diseño estructural de producción, lo que destaca la relevancia del sustrato.

Se concluye que los sistemas verticales de producción de alimentos evaluados, contruidos con materiales locales representan un alternativa viable y escalable para la producción de alimentos nutritivos en traspacios de hogares rurales y urbanos, que representa una oportunidad para diversificar la canasta básica alimentaria. Si bien, no sustituyen a la agricultura convencional, su implementación puede fortalecer la seguridad alimentaria y nutricional a nivel familiar, al proporcionar acceso a alimentos frescos en contextos de recursos limitados.

**Palabras clave:** Sistemas-agroalimentarios, innovación, producción-urbana, adaptación, desarrollo sostenible

**ABSTRACT:** Food and nutritional insecurity in vulnerable populations like Guatemala is affected by various factors, including structural poverty, malnutrition, and limited access to health services and food. This is exacerbated by extreme weather events and limited access to land for food production. This study evaluated the productive potential of rustic vertical food production systems as an accessible technology for vegetable production in space-constrained garden environments, utilizing local resources. Two structural prototypes or designs (Design 1: wooden boxes; Design 2: PVC towers) and three local substrates (chicken manure, vermicompost, and brushwood/mulch) were

tested in a factorial design for three edible species: *Beta vulgaris*, *Spinacia oleracea* L., and *Brassica campestris* L.

The results showed that the structural design of the vertical production system and the substrates influenced yield, with a significant interaction ( $p < 0.05$ ) observed in the production of *B. vulgaris*. The highest yield for this species was 329.6 kilograms (kg) per cubic meter ( $m^3$ ) of substrate, using design D2 in combination with chicken manure. For *S. oleracea* and *B. campestris*, the highest production was obtained with vermicompost and chicken manure substrates ( $193.4 \text{ kg}/m^3$  and  $143.8 \text{ kg}/m^3$ , respectively), regardless of the structural design, highlighting the importance of the substrate.

It is concluded that the evaluated vertical food production systems, built with local materials, represent a viable and scalable alternative to produce nutritious food in the backyards of rural and urban households, offering an opportunity to diversify the basic food basket. While they do not replace conventional agriculture, their implementation can strengthen food and nutritional security at the family level by providing access to fresh food in contexts of limited resources.

**Key words:** agrifood systems, innovation, urban production, adaptation, sustainable development.

## INTRODUCCIÓN

La inseguridad alimentaria es un desafío multifacético que afecta a millones de personas en muchos países y representa una de las preocupaciones del siglo XXI (Dawood & van Vuuren, 2023), particularmente aguda en regiones con alta vulnerabilidad socioeconómica y ambiental, como es el caso de Guatemala. En este contexto, la convergencia de factores como el crecimiento poblacional, la urbanización sin planificación, la migración rural-urbana, el limitado acceso a tierras productivas o habitacionales y la alta exposición a fenómenos climáticos o geofísicos extremos, crean un contexto donde las familias, especialmente las de escasos recursos que pertenecen a grupos étnicos mayas, enfrentan grandes obstáculos para acceder a alimentos frescos y nutritivos (Canales, 2019); (Morales Gamboa, 2020); (Lal, 2020); (FAO, 2004); (FAO, 2023); (Bello *et al.*, 2021); (Sistema Guatemalteco de ciencias del Cambio Climático [SGCCC], 2019). Sumado a lo anterior, el retraso en el crecimiento, conocido como desnutrición crónica, es un importante problema para la salud de los niños mayas, derivado de una compleja interacción entre la malnutrición, acceso limitado a atención médica, la pobreza y la inseguridad alimentaria (Monroy-Valle *et al.*, 2025); (Lane *et al.*, 2024). Además, en Guatemala la actividad agrícola es uno de los medios de vida de mayor importancia, pero, es de los más sensibles y vulnerables ante fenómenos climáticos por su dependencia de las lluvias (SGCCC, 2019), esta dependencia puede agravar la inseguridad alimentaria y nutricional (Garrido Solano *et al.*, 2019); (FAO, 2022). El cambio climático trae consigo una diversidad de retos especialmente en el sector agroalimentario, (Acción contra el hambre, 2023) afirma que “Un clima más cálido y menos predecible significa menos alimentos en la mesa para hasta 80 millones de personas más de aquí a 2050 especialmente en lugares donde los conflictos, la inestabilidad económica y los fenómenos meteorológicos extremos recurrentes dificultan la capacidad de adaptación”

Frente a esta problemática, la agricultura en espacios reducidos emerge como una estrategia de resiliencia. En el altiplano occidental de Guatemala, por ejemplo, se estima que sólo el 17.7% de las familias cuenta con un área potencial para huertos de traspatio y la mayoría de estos tiene un espacio entre 5 a 14 metros cuadrados (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático [ICC], 2021). Esto resalta la necesidad de desarrollar sistemas de producción que no solo optimicen el uso del espacio, sino que sean tecnológica y económicamente viables, y que puedan emplear recursos locales.

Los sistemas verticales de producción de alimentos se presentan como una alternativa innovadora para aportar en la seguridad alimentaria de familias. Su potencial de eficiencia no se limita solo a la productividad por unidad de área, sino que se extiende al uso de recursos locales y de bajo costo, clave para su adopción y escalabilidad en contextos de subsistencia. Sin embargo, la

viabilidad de esta tecnología depende de su diseño estructural y de los insumos para su construcción para que estén al alcance de las poblaciones o familias vulnerables.

Para afrontar la inseguridad alimentaria existe una variedad de tecnologías agrícolas que pueden fortalecer los medios de producción, sin embargo, la asequibilidad es limitada. Principalmente para las familias con bajos ingresos económicos.

Para responder a algunos desafíos mencionados se optó por estudiar los sistemas verticales rústicos de producción de alimentos y la respuesta productiva de las siguientes especies comestibles: acelga *Beta vulgaris* var. Cicla; espinaca *Spinacia oleracea* y flor amarilla *Brassica campestris* L. Para ello se establecieron de manera paralela los tres ensayos, cada una se enmarcó bajo el diseño experimental bloques completamente al azar bifactorial con arreglo combinatorio y con tres repeticiones.

Este estudio analizó esta tecnología vertical de producción de alimentos, que no pretende competir con los rendimientos de la agricultura convencional (suelo), sino evaluar la funcionalidad productiva con base a prototipos rústicos de sistemas verticales, construidos con materiales locales y reutilizables (madera y tubería de PVC), y empleando sustratos de origen local (gallinaza, lombricomposta y broza). El objetivo fue determinar el potencial productivo de estos sistemas verticales de producción de alimentos, como una tecnología potencialmente apropiada y escalable para la producción de hortalizas (primordialmente las hojas o follaje) en condiciones de traspasío con espacio limitado. De esto modo, el estudio busca contribuir a la seguridad alimentaria desde una perspectiva de accesibilidad y adaptación local.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación y temporalidad

La investigación se estableció a cielo abierto bajo condiciones climáticas de Santa Lucía Utatlán, departamento (provincia) de Sololá, Guatemala (14.815745 latitud norte y -91.269628 longitud oeste), desde el 20 de abril hasta el 19 de agosto de 2022. Con una duración de 121 (4 meses) días desde su establecimiento hasta la culminación (última cosecha). Durante la investigación se tuvo una precipitación acumulada de 725.1 mm; se registró una temperatura máxima de 19.76 °C y una mínima de 10.0 °C. La temperatura promedio fue 14.6 °C. Las temperaturas registradas a lo largo de esta investigación se mantuvieron dentro de los rangos diarios considerados favorables para el desarrollo de las especies evaluadas. Según la literatura, los rangos de temperatura son los siguientes: para e *Beta vulgaris*, entre 15 °C- 25 °C. (Jiménez *et al.*, 2010); (Idrissova *et al.*, 2023). Para la especie *Spinacia oleracea*, entre 14 °C a 24 °C (Iriany *et al.*, 2021). Para la especie *Brassica campestris*, entre 12°C a 30 °C (Eduarda Borges *et al.*, 2023), mostrando esta última la mayor plasticidad adaptativa de las tres.

### Especies evaluadas

Se evaluó la producción kg de biomasa foliar obtenida por volumen de sustrato en m<sup>3</sup> de sustrato para las especies comestibles: Acelga *Beta vulgaris* L. var. *cicla*, espinaca *Spinacia oleracea* L. var Región F1 y la especie flor amarilla *Brassica campestris* L.; Las especies enlistadas fueron seleccionadas por su aporte nutricional (Macro y micronutrientes) y en el caso de *B. campestris* por su uso cultural alimenticio en la dieta de la población indígena en el altiplano occidental de Guatemala, los aportes nutricionales de estas especies se enlistan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Composición nutricional de las tres especies comestibles empleadas en la investigación (consumidas en fresco).

Fuente: (INCAP, 2012), (Azurdia, 2016)

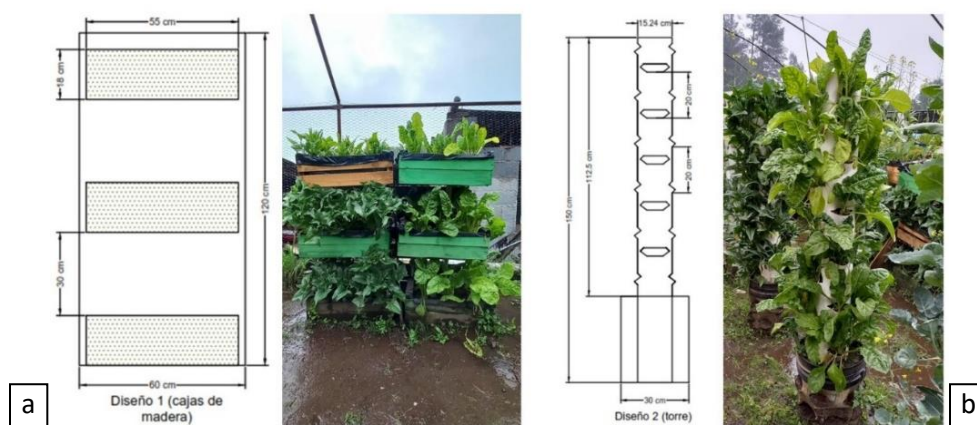
**Table 1.** Nutritional composition of the three edible species used in the research (consumed fresh). Source: (INCAP, 2012), (Azurdia, 2016)

Especie	Composición 100 gramos en fresco													
	Agua	energía	proteína	Grasa Total	Carbohidratos	Fibra Diet. Total	Ceniza	Calcio	Fósforo	Hierro	Tiamina	Riboflavina	Niacina	Vitamina C
	%	Kcal.	g	g	g	g	g	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
<i>S. oleracea</i>	91.4	23	2.86	0.39	3.63	2.2	1.72	99	49	2.71	0.08	0.19	0.72	28
<i>B. vulgaris</i>	91.1	27	2.9	0.3	4.8	-	-	62	-	3.9	0.05	0.23	0.5	6
<i>B. campestris</i>	91	27	1.7	0.1	6.2	3.6	1	24	46	0.4	0.05	0.02	0.4	62
<i>S. oleracea</i>	469	0.01	0.17	0.06	0	558	79	0.53	79	0.19	0	0	194	0.75
<i>B. vulgaris</i>	330	-	-	-	0	550	147	0.02	65	-	0	90	-	0.82
<i>B. campestris</i>	2	0.01	0.05	0.01	0	350	20	0.03	19	0.15	0	0	16	0.46

## Factores de estudio

### Diseño

Para el primer diseño estructural D1 (Figura 1a) se emplearon materiales maderables locales bajo condición de reuso como tarimas o pallets. También se emplearon cajas de madera (0.55 m x 0.30 m x 0.18 m) para transporte de verduras en Guatemala y soportes metálicos (ménsulas para repisas con capacidad de 25 kg).

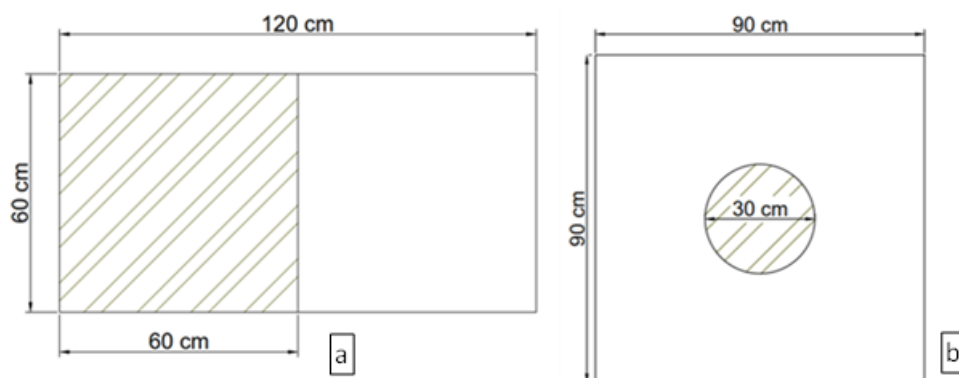


**Figura 1.** Prototipos de diseños estructurales de producción de alimentos: a) Diseño 1 (D1 = cajas) y b) diseño 2 (D2 = torre).  
**Figure 1.** Prototypes for food-production, a) Design 1 (D1= wooden boxes type) and b) Design 2 (D2= tower type).

El segundo diseño estructural D2 (figura 1b) consistió en tubos de PVC (Policloruro de vinilo) de 15.2 cm de diámetro con un grosor de 0.28 cm y 150 cm de altura; (Martínez & Romero, 2015) afirman que la durabilidad teórica de este material es cercana a los 100 años. Además, para su degradación se requieren de condiciones de intemperie con temperaturas superiores a los 54 °C (Solorio, 2020) afirma que para su deformación total se requiere de 399 °C. Estos datos como durabilidad son indispensables para la toma de decisiones para su posible replicación.

Cada estructura ocupó un espacio superficial distinto (Figura 2). Ambos diseños ocupan un área superficial eficaz (trama) y un área necesaria para el manejo que corresponde (zona blanca). Dada la naturaleza de la investigación no se evaluaron estratos de cada diseño ya que la prioridad consistió en sistematizar el comportamiento de la producción por cada estructura completa como se observa en la sección de resultados.

Cada una de las plantas para el diseño no. 1 tuvo un volumen de sustrato de 3.4 litros y para el diseño 2 cada planta ocupó un volumen de 0.8 litros, la característica del diseño 1 con relación al volumen del sustrato se ve limitada a cada una de las cajas que ocuparon, sin embargo, en el diseño no. 2 al ser un sistema conectado cada planta pudo anclarse al sustrato en toda la estructura.



**Figura 2.** Espacio que ocupa cada uno de los diseños estructurales a) diseño D1 y b) diseño D2.  
**Figure 2.** Space occupied by each food production prototype a) design D1 and b) design D2.

**Tabla 2.** Área superficial efectiva (trama) y área para manejo agronómico utilizada (zona blanca) por cada diseño de estructural de producción de alimentos.

**Table 2.** Effective surface area (cross-hatching) and area for agronomic management used (white area) for each food production structure design (prototype).

Diseño	Área efectiva superficial	Área efectiva superficial + área de manejo
Diseño 1	0.36 m <sup>2</sup>	0.71 m <sup>2</sup>
Diseño 2	0.07 m <sup>2</sup>	0.81 m <sup>2</sup>

### Sustratos

Los sustratos se formularon en una mezcla en proporción de 3:1. El primer sustrato formulado con gallinaza + suelo; el segundo sustrato: compuesto de lombricomposta (a partir de estiércol de ganado vacuno) + suelo y el tercer sustrato fue una mezcla broza (hojarasca o mantillo de boques) + suelo. El suelo empleado provino de la misma zona de investigación y sus características físico/químico se detalla en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Resultado del análisis físico/químico del suelo empleado en la formulación de la mezcla de sustratos para ambos sistemas verticales.

**Table 3.** Physicochemical analysis of the soil is used to formulate the substrate mixture for both food production systems.

Conductividad Eléctrica	pH en agua	Materia orgánica	Ca	Mg	K	Na	Capacidad de intercambio catiónico	P	Cu	Zn	Fe	Mn	Textura	Punto de Marchitez Permanente	Capacidad de Campo	Densidad aparente
(dS m <sup>-1</sup> )		%	Meq intercambiables/100 g suelo					(ppm)					% H		g/cc	
0.07	6.33	4.39	6.46	1.70	1.06	0.84	22.29	0.34	0.69	1.46	9.80	36.93	Franco Arenoso	16.67	36.36	0.96

### Diseño y conformación de tratamientos

Se empleó un diseño factorial 2x3 = 6 tratamientos ensayados por cada especie comestible. El diseño experimental utilizado fue un bloque completo al azar con arreglo combinatorio que consistió en tres repeticiones.

Los tratamientos se designaron como:

\* T1, T2...T6 = tratamiento (combinación de factores A y B)

Factor A: \* D1 = Estructura vertical (cajas)

\* D2 = Estructura vertical (torre)

Factor B: \* S1 = Sustrato 3:1 (gallinaza y suelo convencional)

\* S2 = Sustrato 3:1 (lombricomposta y suelo convencional)

\* S3 = Sustrato 3:1 (broza/mantillo y suelo convencional)

### Análisis estadístico

Los dos diseños de estructuras de producción de alimentos evaluados (tipo cajas y torre) presentaron una superficie ocupada y, consecuentemente, una capacidad de alojamiento de plantas diferente. Para comparar su productividad de manera equitativa, se normalizó la producción de ambos diseños a un volumen estándar de 1 m<sup>3</sup> de sustrato. Tras esta normalización, se determinó que el diseño "D1" puede alojar 294 plantas, mientras que el diseño "D2" 250 plantas. El análisis de los datos generados se empleó el software Infostat® en su versión estudiantil.

Los datos de producción se sometieron a un análisis de varianza. Los supuestos de normalidad y homogeneidad varianza se verificaron con anticipación y, cuando hubo diferencias estadísticas, se realizó una comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ). El análisis se efectuó por cada especie evaluada de manera separada.

### Manejo experimental

Algunas consideraciones de manejo de las tres especies comestibles evaluadas, la temporalidad de siembra y cosecha entre otros aspectos se resumen en la Tabla 4. El riego se efectuó manualmente cada dos días, empleando un recipiente calibrado. El volumen de agua aplicado en cada riego fue proporcional al volumen del sustrato de cada diseño, con el fin de mantener la humedad cercana a la capacidad de campo. Para ello, se utilizó una relación de 196.9 litros de agua por cada metro cúbico de sustrato. Con base a dicha relación, el volumen de riego fue de 10 y 24 litros para el diseño D1 y diseño D2.

**Tabla 4.** Resumen del manejo agronómico de la investigación  
**Table 4.** Summary of agronomic management for research

Nombre común	Acelga	Espinaca	Flor amarilla
Nombre científico	<i>Beta vulgaris</i> L. var. <i>cicla</i>	<i>Spinacia oleracea</i> L.	<i>Brassica campestris</i> L.
Método de siembra	Siembra directa de plántulas		
Fecha de siembra	20 de abril de 2022		
Fecha de cierre	19 de agosto de 2022		
Órgano aprovechado	Hojas		
Consideraciones de cosecha	Hojas $\geq 25$ cm		$\geq 15$ cm
Número de cortes	5 cortes en intervalo de entre 9 a 29 días entre corte		
Plantas por estructura diseño D1	18		
Plantas por estructura diseño D2	22		
Control de malezas	1 control a los 60 días después de siembra		
Plagas de importancia	Chupadores pulgones ( <i>Aphididae</i> )	Masticadores estado larval (especie no identificada)	
Tipo de control	2 aplicación foliares en intervalo de 20 días (cloronicotinilo + Piretroide)		
Fertilización foliar	3 aplicaciones foliares a razón de 7.8 cc/litro de agua en intervalos de 20 días		

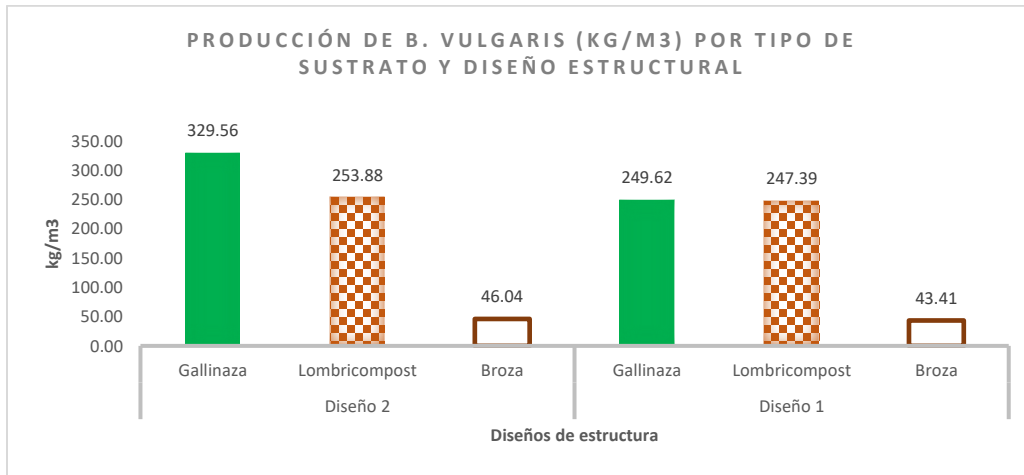
### Cosecha

La cosecha de las tres especies se efectuó cuando las plantas alcanzaron la madurez foliar, determinada según los criterios indicados en la tabla 5, como longitud de hoja y estado fitosanitario libre de daños visibles. Para todas las especies, la primera cosecha se efectuó a los 49 días después de la siembra. Los cortes posteriores se efectuaron en un régimen de cinco cosechas con los siguientes intervalos: 9 días entre la primera y la segunda, 20 días entre la segunda y la tercera, 19 días entre la tercera y la cuarta, y 29 días entre la cuarta y la quinta (última).

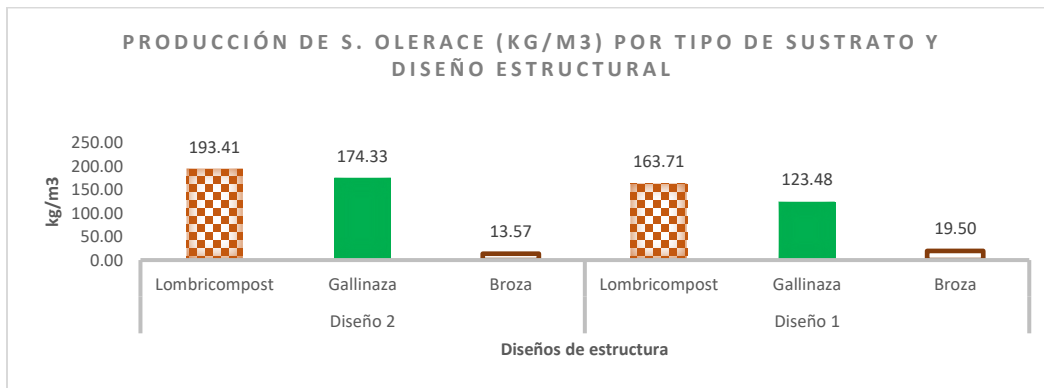
Los criterios de longitud foliar mínima para la cosecha fueron: *B. vulgaris*  $\geq 25$  cm; *S. oleracea*  $\geq 15$  cm y *B. campestris*  $\geq 15$  cm. Durante el estudio, se registró el peso fresco de cada tratamiento en cada uno de los cinco cortes.

### RESULTADOS

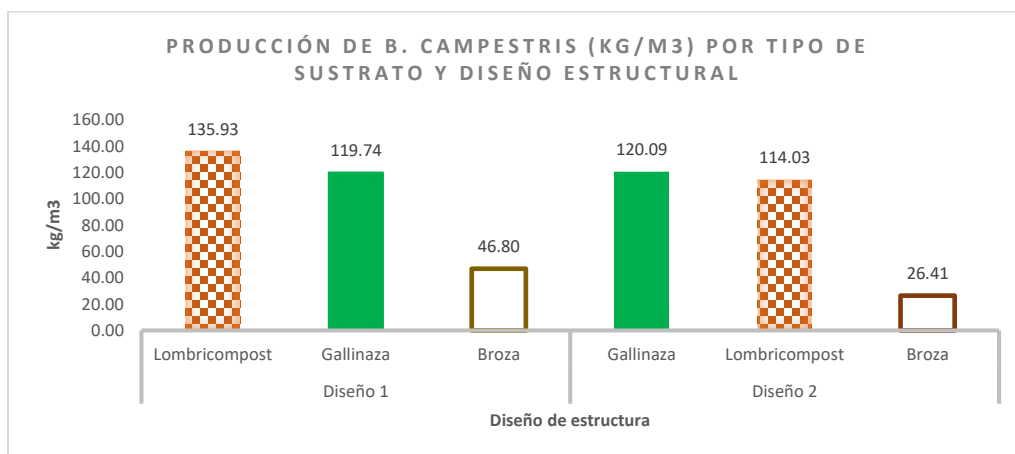
Las especies *B. vulgaris* y *S. Oleracea* cultivadas en el diseño estructural D2 (tipo torre) mostraron una productividad superior con los sustratos de gallinaza y lombricomposta en comparación con el sustrato de broza/mantillo (Figura 3 y 4). Un comportamiento distinto se observó con la especie *B. campestris* (Figura 5); que presentó el mejor rendimiento en el diseño de estructura D1 (tipo cajas) en combinación con los sustratos de lombricomposta y gallinaza.



**Figura 3.** Producción promedio de biomasa de la especie acelga -*B. vulgaris* en kg/m<sup>3</sup>  
**Figure 3.** Average biomass yield of *B. vulgaris* (Swiss chard) in Kg/m<sup>3</sup>



**Figura 4.** Producción promedio de biomasa de la especie espinaca -*S. oleracea* en kg/m<sup>3</sup>  
**Figure 4.** Average biomass yield of *S. oleracea* (Spinach) in Kg/m<sup>3</sup>.



**Figura 5.** Producción promedio de biomasa de la especie flor amarilla -*Brassica campestris* L. kg/m<sup>3</sup>  
**Figure 5.** Average biomass yield of *Brassica campestris* L. in Kg/m<sup>3</sup>.

**Acelga *B. vulgaris***

El análisis de varianza reveló que la producción de *B. vulgaris* fue afectada de manera altamente significativa por el diseño estructural, el tipo de sustrato y la interacción entre ambos factores (Tabla 5). El factor que explicó la mayor variación fue el sustrato ( $p < 0.0001$ ), siendo la gallinaza el de mejor desempeño. Asimismo, se encontró un efecto significativo del diseño estructural ( $p = 0.0183$ ), con el diseño D2 mostrando la mayor producción promedio.

**Tabla 5.** Análisis de varianza para la producción de acelga *B. vulgaris*.**Table 5.** Analysis of variance for the chard production of *B. vulgaris*.

Fuente de variación (F.V.)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad	Cuadrado Medio (CM)	F	p-valor
Modelo	230829.6	7	32975.66	98.27	<0.0001
Bloque	9393.39	2	4696.69	14	0.0013
Diseño	3021.49	1	3021.49	9	0.0133
Sustrato	214300.29	2	107150.14	319.31	<0.0001
Diseño*Sustrato	4114.43	2	2057.22	6.13	0.0183
Error	3355.72	10	335.57		
Total	234185.32	17			

Con base a la prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), la combinación entre el diseño estructural D2 con el sustrato de gallinaza produjo el rendimiento significativamente más alto de *B. vulgaris* alcanzando 329.6 kilogramos (Tabla 6), formando un conglomerado estadístico superior. Los tratamientos que le siguieron en rendimiento, formando un grupo secundario, fue el diseño de D1 (cajas) combinado con gallinaza (260.94. kilogramos) y la lombricomposta en ambos diseños.

En contraste, el sustrato 3 (broza/mantillo) mostró los rendimientos más bajos y conformando un tercer grupo estadístico distinto e inferior (Clasificación C, Tabla 6b), independientemente del diseño estructural productivo empleado.

**Tabla 6.** Producción *B. vulgaris* prueba de medias para las variables: a) diseño, b) sustrato y c) interacción de factores en *B. vulgaris*.**Table 6.** Yield of *B. vulgaris* Analysis of variance for the variables: a) design b) substrate and c) interaction between factors.

a) Diseño			
Diseño	Medias (kg)	E.E.	Clasificación
D2	209.83	6.11	A
D1	183.92	6.11	B

b) Sustrato			
Sustrato	Medias (kg)	E.E.	Clasificación
Gallinaza	295.25	7.48	A
Lombricomposta	250.64	7.48	B
Broza	44.73	7.48	C

## c) Interacción

Diseño	Sustrato	Medias (kg)	E.E.	Clasificación
D2	Gallinaza	329.56	10.58	A
D1	Gallinaza	260.94	10.58	B
D2	Lombricomposta	253.88	10.58	B
D1	Lombricomposta	247.39	10.58	B
D2	Broza	46.04	10.58	C
D1	Broza	43.41	10.58	C

**Espinaca *S. oleracea* L.**

El análisis de varianza (Tabla 7) de la producción de *S. oleracea* no mostró un efecto significativo del diseño estructural ( $p = 0.0544$ ), pero si reveló diferencias altamente significativas debidas con base al tipo de sustrato ( $p < 0.0001$ ), donde la lombricomposta y la gallinaza superaron notablemente la broza/mantillo (Tabla 8). La interacción entre el diseño y el tipo de sustrato no fue significativa, lo que sugiere que la elección del sustrato es el factor determinante para maximizar la producción de esta especie comestible.

**Tabla 7.** Análisis de varianza para la producción de *S. oleracea*  
**Table 7.** Analysis of variance for the spinach production *S. oleracea*

Fuente de variación (F.V.)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad	Cuadrado Medio (CM)	F	p-valor
Modelo	96605.46	7	13800.78	23.52	<0.0001
Bloque	2044.77	2	1022.39	1.74	0.2243
Diseño	2784.57	1	2784.57	4.75	0.0544
Sustrato	89305.99	2	44652.99	76.1	<0.0001
Diseño*Sustrato	2470.13	2	1235.07	2.1	0.1726
Error	5868.03	10	586.8		
Total	102473.49	17			

Nota: gl= grados de libertad; CM= cuadrado medio; F= estadístico F de Fisher.

**Tabla 8.** Prueba de medias para la variable sustrato en *S. oleracea*.

**Table 8.** T- test for variable substrate in *S. oleracea*.

Sustrato	Medias	E.E.	Clasificación
Lombricomposta	178.56	9.89	A
Gallinaza	148.91	9.89	A
Broza (mantillo)	16.54	9.89	B

Los resultados de producción de *S. oleracea* sugieren la especie *S. oleracea* se ajusta a condiciones confinadas, sin embargo, el sustrato que le proporcionó las mejores condiciones para alcanzar la producción reflejada en la Tabla 8 corresponde al uso de lombricomposta.

**Flor amarilla *B. campestris***

La producción de *B. campestris* con base al análisis de varianza, no presentó diferencias significativas entre las dos opciones de estructuras de producción de alimentos (tipo torre y cajas). Por el contrario, se observaron diferencias altamente significativas ( $p > 0.0001$ ) entre de los sustratos (Tabla 9). No obstante, no se detectó interacción significativa entre el diseño de estructura y el tipo de sustrato.

**Tabla 9.** Análisis de varianza para la producción de *B. campestris*.**Table 9.** Analysis of variance for the yield of *B. campestris*.

Fuente de variación (F.V.)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad	Cuadrado Medio (CM)	F	p-valor
Modelo	30920.48	7	4417.21	13.57	0.0002
Bloque	24.45	2	12.23	0.04	0.9633
Diseño	879.9	1	879.9	2.7	0.1312
Sustrato	29552.6	2	14776.3	45.39	<0.0001
Diseño*Sustrato	463.52	2	231.76	0.71	0.514
Error	3255.67	10	325.57		
Total	34176.15	17			

**Tabla 10.** Prueba de Tukey para la variable producción de biomasa por el uso del sustrato en *B. campestris*.**Table 10.** Tukey's mean test for the variable biomass production by using the substrate variable in *B. campestris*.

Sustrato	Medias	E.E.	Clasificación
Lombricomposta	124.98	7.37	A
Gallinaza	119.92	7.37	A
Broza	36.6	7.37	B

Con base en la prueba de medias de Tukey, se observó superioridad de la producción promedio de *B. campestris* empleando en los sustratos de lombricomposta y gallinaza sobre la broza/mantillo (Tabla 10).

**DISCUSIÓN**

El presente estudio demostró que, para alcanzar la optimización en los sistemas verticales de producción de alimentos, con referencia a las dos estructuras (diseños) y las especies *B. vulgaris* y *S. oleracea* en contextos de escasos recursos depende de la interacción entre el diseño y la calidad del sustrato, más que de factores aislados.

Los resultados confirman que el diseño estructural como el sustrato influyeron significativamente ( $p = 0.001$ ) en la producción de *B. vulgaris*. Además, se observó una interacción significativa ( $p=0.0183$ ) entre ambos factores, lo que indica que el efecto del sustrato en el rendimiento dependió del diseño de la estructura de producción empleado, y viceversa. La superioridad del diseño estructural D2 (tipo torre) puede atribuirse a una mejor optimización del espacio y una exposición lumínica más homogénea para las plantas. Si bien esta variable no fue medida cuantitativamente en el estudio, representa una línea de investigación prioritaria para futuros trabajos vinculado a los sistemas verticales.

De manera consistente, el sustrato surgió como el factor de mayor influencia en el rendimiento de las tres especies, estos resultados concuerdan con los argumentos de (Bárbaro *et al.*, 2019) quien a través de la caracterización de 15 tipos de composta comprobaron que estos mejoran las características físicas y químicas de un sustrato a comparación de un suelo convencional. En el presente estudio de los sustratos evaluados, la gallinaza y la lombricomposta fueron superiores sobre la broza/mantillo, concordando con lo reportado por (Libutti *et al.*, 2020). Para el caso de la gallinaza, la composición de este recurso es una alternativa ideal ya que al estabilizar la materia orgánica facilita el aprovechamiento de sus propiedades como fertilizante como afirman (Casas Rodríguez & Guerra Casas, 2020). Además, estos beneficios sobre la producción coinciden con los hallazgos de (Peñaloza Monroy *et al.*, 2019), quienes reportaron mayores rendimientos y tallos más vigorosos en tratamientos basado en gallinaza. (Wang *et al.*, 2017), también documentaron incrementos entre el 5 y 10% en cultivos de alta densidad mediante el uso de estiércol (abono orgánico).

En el caso específico de la especie *B. vulgaris*, el nitrógeno disponible (+17%) proporcionado por la gallinaza presentó una relación positiva sobre la producción de hojas frescas lo cual concuerda con las afirmaciones de (Puccinelli *et al.*, 2022), además, este sustrato mejoró significativamente el ratio de peso seco/peso húmedo de las hojas y en la variable de área foliar. De manera similar, el uso de compostaje enriquecido ha destacado como sustrato efectivo para las tres especies estudiadas, fundamentalmente para *S. oleracea* y *B. campestris*, en coincidencia con los estudios realizados por (Smith *et al.*, 2001) y validados por (Tognetti *et al.*, 2005).

En el presente estudio se observó que la producción de *B. vulgaris* (var. *cicla*) bajo los diseños estructurales D1 y D2 se redujo entre un 18% y un 46%, respectivamente, en comparación con una producción intensiva en suelo reportada por Seymour (1999), citado en Salas Espinoza, (2019). Ésta marcada reducción puede atribuirse fundamentalmente a la severa limitación en el volumen del sustrato, el cual se encuentra muy por debajo del mínimo recomendado de 7-10 litros/planta para esta especie (Morales *et al.*, 2021); (Elorza, 2019), sin embargo, (Lemaitre & Gallego, 2014) afirma que el volumen mínimo puede considerarse en los 5 litros. restringiendo drásticamente la disponibilidad de nutrientes y agua disponible para las plantas.

Para la especie *S. oleracea* el requerimiento es entre 2 - 4 litros de sustrato por planta, tal como lo afirman (Lemaitre & Gallego, 2014) y cuya afirmación es confirmada por la autora (Elorza, 2019). Con relación a la producción asociada a los sustratos para las especies *S. oleracea* y *B. campestris*, los mayores rendimientos se obtuvieron por medio los sustratos de lombricomposta y gallinaza, respectivamente. Los hallazgos sugieren que en los diseños evaluados la calidad de los sustratos es clave en el rendimiento de los cultivos aún más que el volumen de los recipientes.

Los resultados sistematizados en esta investigación permiten que, para los diseños de estructura evaluados, la calidad del sustrato fue un factor determinante en el rendimiento, que podría compensar parcialmente las limitaciones impuestas por el reducido volumen de los contenedores. No obstante, se identificaron desafíos técnicos, como la baja capacidad de retención de humedad en la sección superior del diseño D2, lo que implicó elevar la frecuencia de riego.

A pesar de estas limitaciones mencionadas, los sistemas verticales evaluados muestran un gran potencial para ser empleados por familias de bajos recursos en zonas con espacio limitado. Incluso en situaciones de crisis, como la pandemia de COVID-19, estos sistemas podrían ofrecer el acceso y disponibilidad de alimentos frescos ante la interrupción de las cadenas de suministro convencional. Estos resultados sugieren que los sistemas verticales de producción de alimentos representan una alternativa viable para complementar y fortalecer la seguridad alimentaria de familias con escasos recursos, sin la pretensión de reemplazar la producción convencional intensiva.

## CONCLUSIONES

El presente estudio evidencia la importancia de optimizar conjuntamente el diseño estructural vertical de producción de alimentos y el tipo de sustrato para maximizar el rendimiento en los

sistemas verticales de producción destinados a condiciones de escasos recursos y espacios físicos reducidos.

La restricción en el volumen de sustrato, características de estos sistemas, es una limitante para alcanzar la producción de una agricultura convencional. Sin embargo, no se pretendió desplazar un sistema de agricultura convencional, sino aportar en la diversidad de la dieta alimentaria. Así mismo, el estudio resalta que el uso de sustratos de alto contenido nutricional para los cultivos, como lo gallinaza y la lombricomposta, es una estrategia clave para compensar esta limitación y maximizar el rendimiento en condiciones de confinamiento. Los resultados permiten atribuir mejores rendimientos de la especie *B. vulgaris* en el diseño estructural D2 (tipo torre), dado a su capacidad para optimizar el espacio y brindar mejores condiciones lumínicas para las plantas, una condición clave en agricultura vertical.

En perspectiva, estos sistemas verticales rústicos representan una herramienta innovadora para fortalecer la seguridad alimentaria en entornos con limitaciones de espacio y escasos recursos. Su implementación puede beneficiar a familias en contextos rurales, urbanos o periurbanos al proporcionar acceso a alimentos frescos.

## AGRADECIMIENTOS

El estudio contó con el financiamiento la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo -AECID- y del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático – ICC-, en el marco del proyecto: Implementación de medidas de adaptación a la variabilidad y el cambio climático para contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional y la reducción de la desnutrición infantil en comunidades y municipios del Departamento de Sololá, Guatemala.

## LITERATURA CITADA

- Acción contra el hambre. (2023). *La crisis climática es una crisis de hambre llamamiento de acción contra el hambre sobre la crisis climática diciembre 2023*. <https://accioncontraelhambre.org/sites/default/files/documents/lacrisisclimaticaesunacrisisdehambre02esp.pdf>
- Azurdiá, C. (2016). *Plantas Mesoamericanas Subutilizadas en la Alimentación Humana. El caso de Guatemala: una revisión del pasado hacia una solución actual*. <https://digi.usac.edu.gt/edigi/pdf/plantasmeso.pdf>
- Bárbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., & Riera, N. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 35(2), 126–136. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000309>
- Bello, O., Peralta, L., Monett, Á., Rivas, J. C., & López, J. (2021). *Evaluación de los efectos e impactos de las depresiones tropicales Eta y Iota en Guatemala*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46681-evaluacion-efectos-impactos-depresiones-tropicales-eta-iota-guatemala>
- Canales, A. (2019). La centralidad de las migraciones en la reproducción de las sociedades avanzadas. *REMHU: Revista Interdisciplinaria Da Mobilidade Humana*, 27(57), 101–121. <https://doi.org/10.1590/1980-85852503880005707>
- Casas Rodríguez, S., & Guerra Casas, L. D. (2020). La gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilización. *Revista de Producción Animal*, 32(3). <http://scielo.sld.cu/pdf/rpa/v32n3/2224-7920-rpa-32-03-87.pdf>
- Dawood, F., & van Vuuren, J. H. (2023). A multi-dimensional spatial index for the quantification of food insecurity. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2023.100768>
- Eduarda Borges, C., Von dos Santos Veloso, R., Alves da Conceição, C., Sampaio Mendes, D., Ramirez-Cabral, N. Y., Shabani, F., Shafapourtehrany, M., Carlota Nery, M., & Siqueira

- da Silva, R. (2023). Forecasting Brassica napus production under climate change with a mechanistic species distribution model. *Scientific Reports*, 13. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38910-3>
- Elorza, M. I. (2019). *Cultivo de un huerto y prácticas asociadas*. [http://www.munistgo.info/medio\\_ambiente/biblioteca\\_digital/Cultivo\\_de\\_un\\_huerto.pdf](http://www.munistgo.info/medio_ambiente/biblioteca_digital/Cultivo_de_un_huerto.pdf)
- FAO. (2004). *La Mujer en la Agricultura, Medio Ambiente y la Producción Rural GUATEMALA*. <http://www.fao.org/3/ad930s/ad930s01.htm>
- FAO. (2022). Urban and peri-urban agriculture sourcebook. In *Urban and peri-urban agriculture sourcebook*. FAO. <https://doi.org/10.4060/CB9722EN>
- FAO. (2023). The State of Food Security and Nutrition in the World 2023. In *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023*. FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO; <https://doi.org/10.4060/CC3017EN>
- Garrido Solano, A. L., Ochoa, W., & Carrera, J. L. (2019). *Agricultura y seguridad alimentaria*. <https://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2019/07/1RepCCGuaCap6.pdf>
- ICC. (2021). *Informe de Línea base del proyecto Implementación de medidas de adaptación a la variabilidad y el cambio climático para contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional y la reducción de la desnutrición infantil en comunidades y municipios del departamento de Sololá, Guatemala MACC-SAN*.
- Idrissova, A., Zhumaguloga, Z., Myrzabayeva, G., Abayeva, K., & Bekbauov, M. (2023). Adaptive abilities of chard cultivars. *Scientific Horizons*, 26(7), 118–128. <https://doi.org/10.48077/SCIHOR7.2023.118>
- INCAP. (2012). *Tabla de composición de alimentos de centro América* (H. Méndez, Ed.; 2a.). <http://www.incap.int/mesocaribefoods/dmdocuments/TablaCALimentos.pdf>
- Iriany, A., Hasanah, F., Roeswitawati, D., & Bela, M. F. (2021). Biodegradable mulch as microclimate modification effort for improving the growth of horens; *Spinacia oleracea* L. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 7(2), 185–196. <https://doi.org/doi.org/10.22034/gjesm.2021.02.03>
- Jiménez, J., Arias, L. A., Espinosa, L., Fuentes, L. S., Garzón, C., Gil, R., Niño, N., & Rodríguez, M. (2010). *El cultivo de la espinaca (Spinacia oleracea L.) y su manejo fitosanitario en Colombia*. UJTL. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13123>
- Lal, R. (2020). Home gardening and urban agriculture for advancing food and nutritional security in response to the COVID-19 pandemic. *Food Security* 2020 12:4, 12(4), 871–876. <https://doi.org/10.1007/S12571-020-01058-3>
- Lane, G., Xinico, S., Monroy-Valle, M., Córdón-Arrivillaga, K., & Vatanparast, H. (2024). Intergenerational Food Insecurity, Underlying Factors, and Opportunities for Intervention in Momostenango, Guatemala. *Nutrients*, 16(4), 470. <https://doi.org/10.3390/NU16040470>
- Lemaitre, H., & Gallego, J. T. (2014). *El huerto ecológico en macetas - Hortensia Lemaitre (tercera)*. RBA Libros S.A. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=sz3ODwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=espinaca,+maceta,+sustrato,+volumen,+litros&ots=jqLaCyHdkH&sig=Ng\\_iq60NFel mYdIvYOJujZ21zZ8#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=sz3ODwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=espinaca,+maceta,+sustrato,+volumen,+litros&ots=jqLaCyHdkH&sig=Ng_iq60NFel mYdIvYOJujZ21zZ8#v=onepage&q&f=false)
- Libutti, A., Trotta, V., & Rivelli, A. R. (2020). Biochar, Vermicompost, and Compost as Soil Organic Amendments: Influence on Growth Parameters, Nitrate and Chlorophyll Content of Swiss Chard (*Beta vulgaris* L. var. *cycla*). *Agronomy* 2020, Vol. 10, Page 346, 10(3), 346. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10030346>
- Martínez del Amo, Y., & Romero Montoya, M. (2015). Tuberías de PVC orientado: eficiencia, ahorro energético y sostenibilidad. *XXXIII Congreso Nacional de Riegos*, 373–379. <https://doi.org/10.4995/CNRIEGOS.2015.1512>
- Monroy-Valle, M., Estrada, M. R., del Carmen Caamaño, M., Córdón-Arrivillaga, K., Lane, G., & Vatanparast, H. (2025). Preschoolers in severely food insecure Guatemalan Mayan households consume a monotonous grain-based diet. *BMC Public Health* 2025 25:1, 25(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/S12889-025-24111-2>

**Recibido:**  
27/mayo/2025

**Aceptado:**  
2/diciembre/2025

- Morales Gamboa, A. (2020). El círculo de la fragilidad: migración de sobrevivencia en Centroamérica. *Migración y Desarrollo*, 18(35), 41–70. <https://doi.org/10.35533/myd.1835.amg>
- Morales, L., Vilis, I., Jarri, L., Fontalvo, J., Alfonso, J., & Acosta, J. (2021). Cultivo de Acelga. In *Infografía*. <https://www.uv.mx/hab/files/2021/10/Cultivo-de-Acelga.pdf>
- Peñalosa Monroy, J., Perez López, D., Reyes, A., González, A., & Sangermán, D. (2019). Fertilización orgánica con tres niveles de gallinaza en cuatro cultivares de papa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 1139–1149. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V10I5.1759>
- Puccinelli, M., Carmassi, G., Botrini, L., Bindi, A., Rossi, L., Fierro-Sañudo, J. F., Pardossi, A., & Incrocci, L. (2022). Growth and Mineral Relations of *Beta vulgaris* var. *ciela* and *Beta vulgaris* ssp. *maritima* Cultivated Hydroponically with Diluted Seawater and Low Nitrogen Level in the Nutrient Solution. *Horticulturae*, 8(7), 1–21. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE8070638>
- Salas Espinoza, J. L. (2019). *Manejo de Nutrición Considerando Capacidad de Extracción de Fertilizantes en la Producción de Acelga (Beta vulgaris)* [Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/46451/K%2066045%20Salas%20Espinoza%2C%20Jorge%20Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SGCCC. (2019). *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala: Resumen para tomadores de decisión*. <https://sgccc.org.gt/resumen-para-tomadores-de-decision/>
- Smith, D. C., Beharee, V., & Hughes, J. C. (2001). The effects of composts produced by a simple composting procedure on the yields of Swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. *flavescens*) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L. var. *nanus*). *Scientia Horticulturae*, 91(3–4), 393–406. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(01\)00273-4](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00273-4)
- Solorio, J. (2020, December 11). *¿Cuál es la diferencia entre el CPVC Cédula 80 y el PVC? | Corzan*. <https://www.corzan.com/es-mx/blog-sp/diferencia-entre-cpvc-corzan-y-pvc>
- Tognetti, C., Laos, F., Mazzarino, M. J., & Hernández, M. T. (2005). Composting vs. vermicomposting: A comparison of end product quality. *Compost Science and Utilization*, 13(1), 6–13. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2005.10702212;JOURNAL:JOURNAL:UCSU20;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:UCSU20;ISSUE:ISSUE:DOI>
- Wang, X., Ren, Y., Zhang, S., Chen, Y., & Wang, N. (2017). Applications of organic manure increased maize (*Zea mays* L.) yield and water productivity in a semi-arid region. *Agricultural Water Management*, 187, 88–98. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2017.03.017>