

Evaluación de variedades de calabacín (*Cucurbita pepo* L.) en un prototipo multitúnel asimétrico. El Ejido, Panamá.



Anovel Amet Barba A. Ing. MsC. PhD



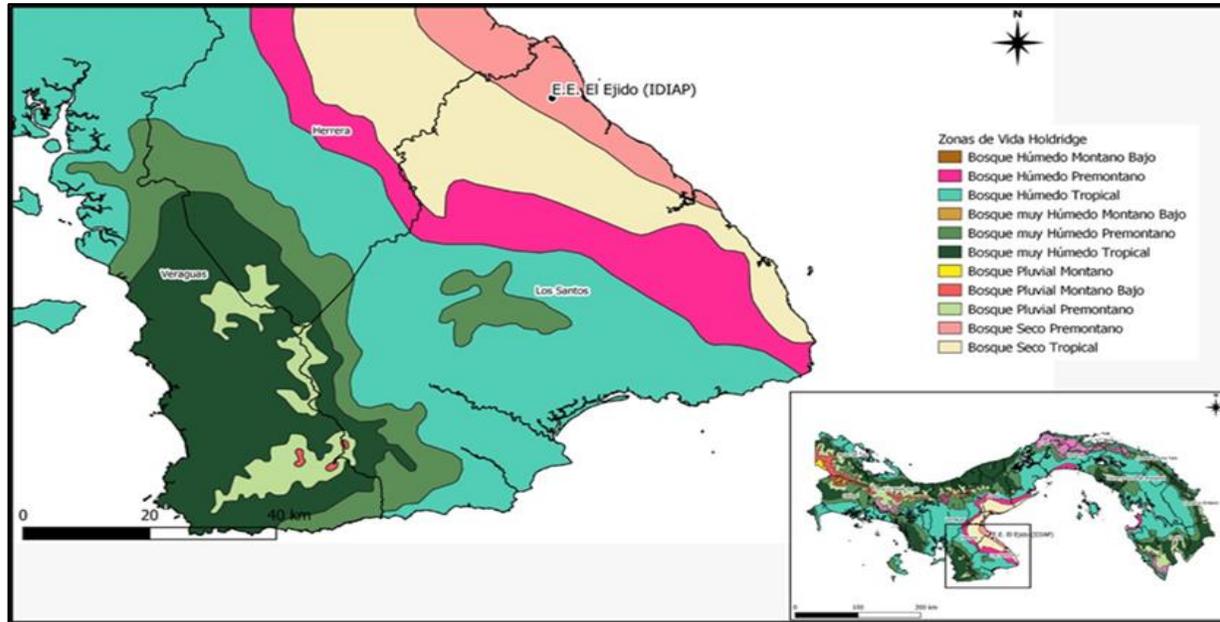
Introducción

En el proyecto **“Innovaciones para la agricultura en ambientes protegidos de zonas tropicales: opción intensificación sostenible de la agricultura familiar en el contexto del cambio climático en ALC”**, financiado por el Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO), para el **diseño del prototipo de estructura para los sitios seleccionados por cada país integrante del proyecto, se utilizó el programa ANSYS™, del campo de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD)**. Mediante un modelo de simulación numérica que permitió diseñar un prototipo de estructura de protección de cultivo con **ventilación pasiva** adaptada a las condiciones de climáticas de las regiones cálidas de la región Pacífico Central de Panamá.

Objetivo específico

1. Evaluar diferentes variedades de calabacín (*C. pepo* L.) en dos sistemas productivos: ambiente protegido (prototipo multitúnel asimétrico) y a campo abierto.
2. Determinar la incidencia de enfermedades fúngicas foliares, virales e insectos en variedades de calabacín bajo sistemas de producción en ambiente protegido y campo abierto.
3. Caracterizar a través de sensores remotos la condición existente en el prototipo multitúnel asimétrico y campo abierto en el cultivo de calabacín.
4. Determinar los beneficios económicos entre ambos sistemas productivos mediante la metodología de análisis económico de presupuesto parcial y tasa de retorno marginal

Ubicación



Localización geográfica de la Estación Experimental del IDIAP El Ejido, en la provincia de Los Santos, Panamá. Zonas de Vida Holdridge (1982).

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos fueron dispuestos en Diseño de Bloques Completos al Azar en arreglo factorial en franjas, con dos factores:

Factor A parcela principal: 2 sistemas de cultivo

Ambiente protegido (Prototipo Multitúnel Asimétrico).

Campo abierto

Factor B subparcelas: 3 variedades de calabacín

Verde Compacta (VC)

Virginia 3 (V)

Black Beauty (S)

Modelo matemático:

$$\bar{y}_{ijk} = \mu + \text{Rep}_i + \text{Sistema}_j + \text{Rep} * \text{Sistema}_{ij} + \text{Variedad}_k + \text{Rep} * \text{Variedad}_{ik} + \text{Sistema} * \text{Variedad}_{jk} + \epsilon_{ijk}$$





Vista panorámica del prototipo multitúnel asimétrico, A) Estructura metálica B) Cobertura anti térmica y malla anti insecto 40 mesh C) Perfil lateral orientado en dirección a vientos predominantes (noreste). Estación Experimental El Ejido, provincia de Los Santos, Panamá.

68% difusión de la luz, 76% de transmisión de luz fotosintética activa, 91% termicidad de la lámina, filtro luz ultravioleta y bloqueo del infrarrojo cercano.



Distribución de los sensores Spectrum-Campbell™, instalados en el prototipo multitúnel asimétrico.



Vista de Estación meteorológica Davis Pro™ y prototipo multitúnel modificado, Estación Experimental El Ejido, Los Santos Panamá.

- ▶ La unidad experimental consistió en tres surcos de **4.5 m de largo a una densidad teórica de 1.1 plantas m⁻²**. Esto se obtuvo con una distancia de siembra de 1 m entre hilera y 0.9 m entre plantas. **El área efectiva fue de 3 plantas** de la hilera central, dejando a cada lado una planta para evitar el efecto de borde. Se utilizaron 360 plantas por ciclo de cultivo, 720 plantas en total en los dos sistemas, protegido y campo abierto.
- ▶ Modelo productivo propuesto fue orgánico y con principios agroecológicos, buscando la sostenibilidad, y agregar valor al sistema productivo.



Las características descriptivas de las variedades de calabacín

Variedades	Descripción
Black Beauty (S)	<p>Crecimiento rápido. Verde oscuro brillante y de color uniforme. Los frutos se cosechan entre 12 - 20 cm de largo y aproximadamente 7 cm de diámetro.</p> <p>Frutos largos, rectos y delgados con pulpa blanca cremosa, firme, muy tierna; la planta crece entre 30-60 cm de altura. Requiere suelos drenados, abundante luz, humedad adecuada. No se recomienda rociar las hojas, para prevenir enfermedades en las plantas.</p> <p>Semillas de calabacín de buen sabor. Las flores amarillas comestibles son hermosas para decorar platos.</p>
Verde Compacta (VC)	<p>Variedad vigorosa compacta. Los frutos son alargados de color verde medio moteado de color verde claro y brillantes que se cosechan cuando alcanzan 20 cm.</p>
Virginia 3 (V)	<p>Variedad temprana, compacto. Frutos medio largos de piel blanca y carne fina.</p>



▶ **Variables de respuesta**

- ▶ **Rendimiento:** Frutos por planta (FRPTA), rendimiento por metro cuadrado (kg/m^2), rendimiento por planta en Kg, peso promedio en kg (RENPT), peso promedio por fruto en kg (PEFRU).
- ▶ **Altura de la planta (ALT):** Se midió desde la base del tallo hasta el ápice con ayuda de una cinta métrica; se realizó una sola medición al final del ciclo productivo de calabacín.
- ▶ **Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI):** lectura con un sensor portátil GreenSeeker™, a una altura constante de 60 cm sobre el dosel de la planta.
- ▶ **Temperatura.** Se midió la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), en intervalos de 10 minutos, tanto en el interior como en el exterior de los sistemas productivos durante todo el ciclo del cultivo con un medidor Spectrum-Campbell™ y estación meteorológica Davis Pro™.
- ▶ **Humedad relativa.** Se midió la humedad relativa (%) en intervalos de cada 10 minutos tanto en el interior, como en el exterior durante todo el ciclo del cultivo.
- ▶ **Radiación Solar.** Se midió la radiación (W/m^2) en intervalos de cada 10 minutos tanto en el interior como en el exterior durante todo el ciclo del cultivo y posteriormente se transformó a energía fotosintética activa.
- ▶ **Velocidad del viento:** Esta variable se midió (m/s), con la estación meteorológica, en intervalos de 10 minutos, durante todo el ciclo del cultivo en la parte externa.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo, se verificaron los supuestos de normalidad (**Shapiro-Wilk**) y homogeneidad de varianza (**Levene**). Se procedió al **análisis de varianza, para variables cuantitativas continuas**. Para la diferenciación estadística ($P \leq 0.05$) entre las variables; para separar las medias, se utilizó la **prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS)**. Se realizó prueba de estadística de “**t student**”, previo análisis de homogeneidad de varianzas, sobre **las temperaturas entre ambientes interno, externo durante el periodo de evaluación (transición de época lluviosa y seca) y secciones dentro del prototipo**. Adicional, los coeficientes de correlación lineal entre las variables temperatura, radiación, humedad relativa y velocidad del viento durante el periodo de evaluación. Se realizó la prueba U Mann-Whitney para muestras independientes y un análisis de componentes principales

- ▶ **Análisis económico**
- ▶ **Se registraron los costos variables** para cada **sistema de manejo protegido y campo abierto** y el precio de mercado obtenido por kilogramo de fruta, según datos obtenidos de IMA del precio del calabacín (Instituto de Mercadeo Agropecuario [IMA], 2021). Posteriormente, se realizó un análisis de presupuesto parcial para determinar la rentabilidad económica (CIMMYT, 1988).

Análisis de varianza de sistemas productivos y variedades sobre el rendimiento y desarrollo vegetativo de plantas de calabacín. Estación Experimental El Ejido, Los Santos, Panamá.



Ciclo 1

Cuadrados Medios

Fuente	g. l	FRTPA	KGM2	RENPT	PFRU	ALT	NDVI
REP	3	2.02	1.40	1.14	0.000	53	0.003
SIS	1	21.41*	13.01*	10.53*	0.000	16,934**	0.055*
SIS*REP	3	1.07	0.90	0.73	0.004	327	0.003
VAR	2	17.56**	25.48***	20.66***	0.078**	2,261*	0.003ns
VAR*REP	6	0.90	0.28	0.23	0.006	368	0.001
SIS*VAR	2	1.24	1.55	1.25	0.001	1,703	0.001

***, **, *, ns., diferencia altamente significativa, 1%, 5 % y no diferencias significativas, respectivamente. Sistema Productivo (SIS), Variedades (VAR), Black beauty (S), Virginia 3 (V), Verde compacta (VC), Número de Frutos / planta (FRPTA), Rendimiento (KG/M²), Peso promedio / planta (RENPT), Peso promedio por fruto (PFRU), Altura de Planta (ALT), Índice de Vegetación Normalizada (NDVI).

Ciclo 2

Cuadrados Medios

Fuente	g. l	FRTPA	KGM2	RENPT	PFRU	ALT	NDVI
REP	3	0.82	0.65	0.63	0.024	269	0.021
SIS	1	5.66	4.00***	3.24***	0.067	1,890**	0.044
SIS*REP	3	1.02	0.06	0.05	0.008	138	0.007
VAR	2	28.33***	10.96***	8.87***	0.018	224	0.015
VAR*REP	6	0.35	0.13	0.1	0.007	80	0.009
SIS*VAR	2	0.42	0.08	0.06	0.026	357	0.014

***, **, *, ns., se refiere a diferencia altamente significativa, 1%, 5 % y no diferencias significativas, respectivamente. Sistema Productivo (SIS), Variedades (VAR), Black beauty (S), Virginia 3 (V), Verde compacta (VC), Número de Frutos por planta (FRPTA), Rendimiento (KG/M²), Peso promedio por planta (RENPT), Peso promedio por fruto (PFRU), Altura de Planta (ALT), Índice de Vegetación Normalizada (NDVI).

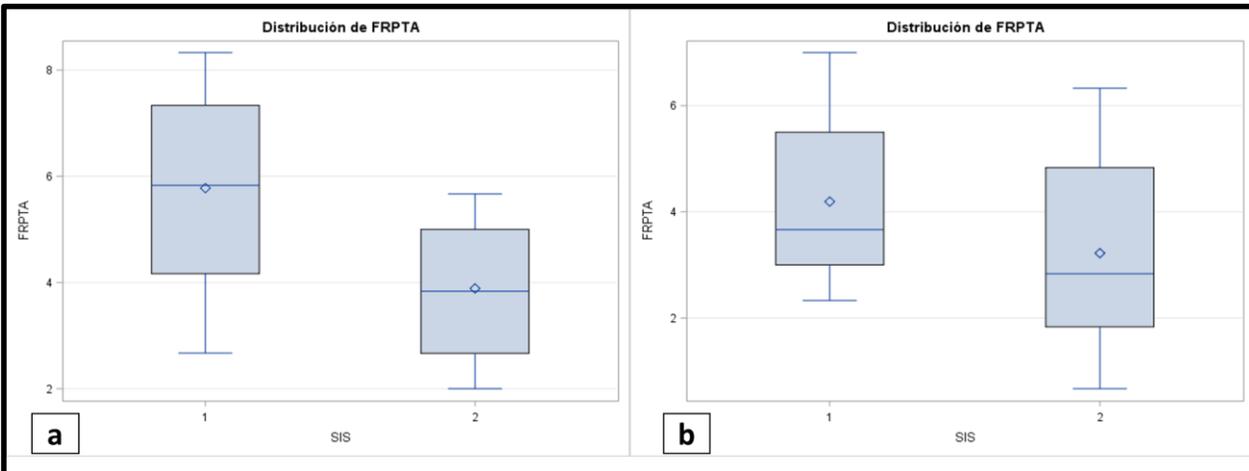


Figura 1. Distribución de número de frutos por planta (FRPTA), por sistema productivo horticultura protegida (S1) y campo abierto (S2) en el ciclo 1 (a) y ciclo 2 (b).

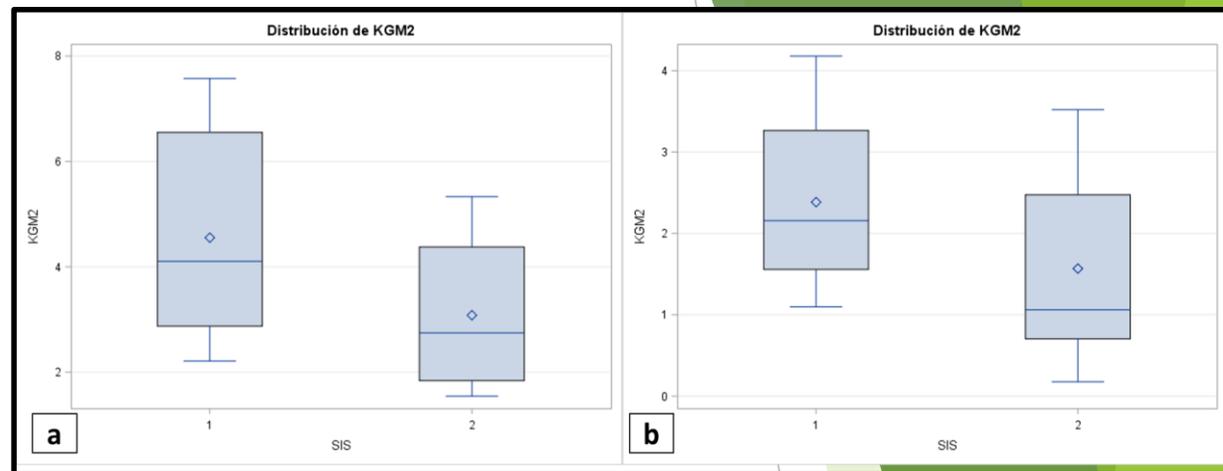


Figura 2. Rendimiento de fruto (kg/m²), por sistema productivo horticultura protegida (S1) y campo abierto (S2) en el ciclo 1 (a) y ciclo 2 (b).

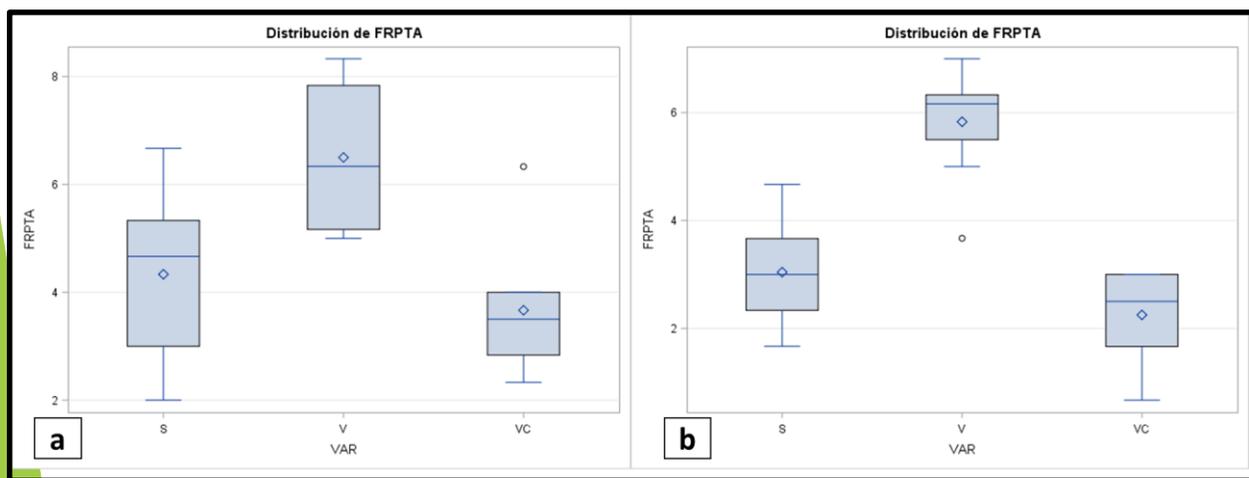


Figura 3. Distribución de número de frutos por planta (FRPTA), por variedad, en el ciclo 1 (a) y ciclo 2 (b).

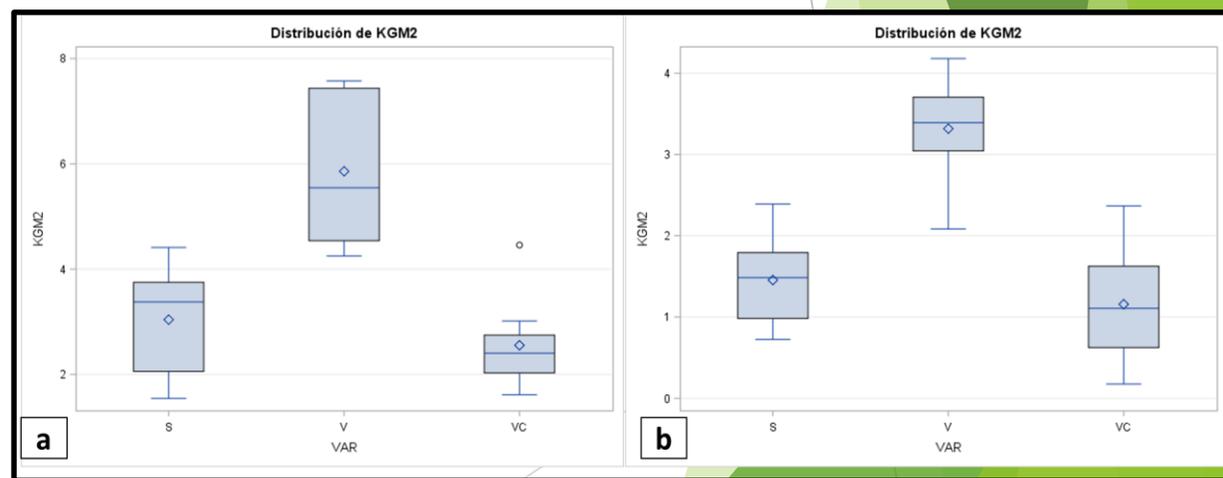


Figura 4. Rendimiento de fruto (kg/m²), por variedad en el ciclo 1 (a) y ciclo 2 (b).

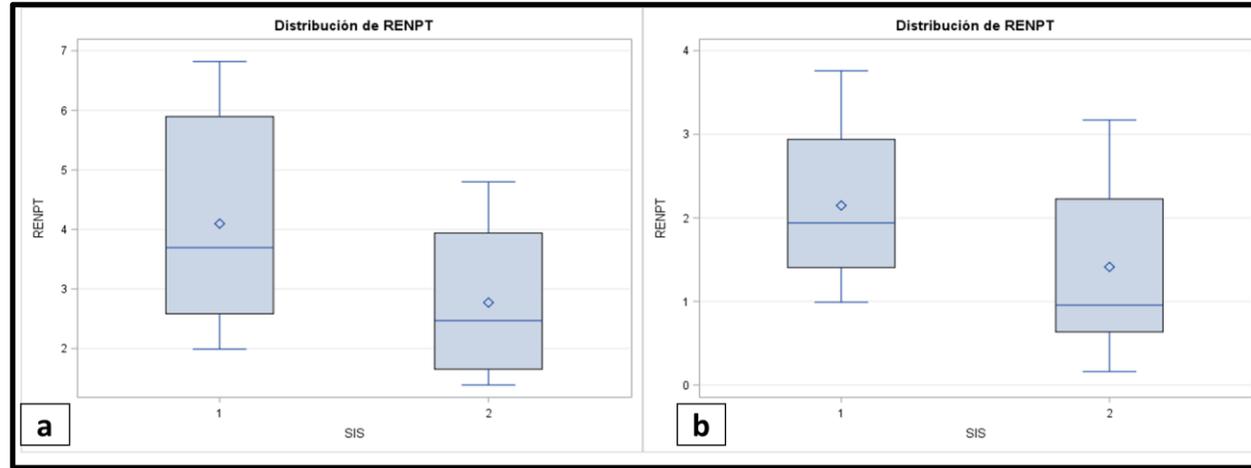


Figura 3. Rendimiento por planta (kg), por sistema productivo hortícola protegida (S1) y campo abierto (S2) en el ciclo 1 (a) y ciclo 2 (b).

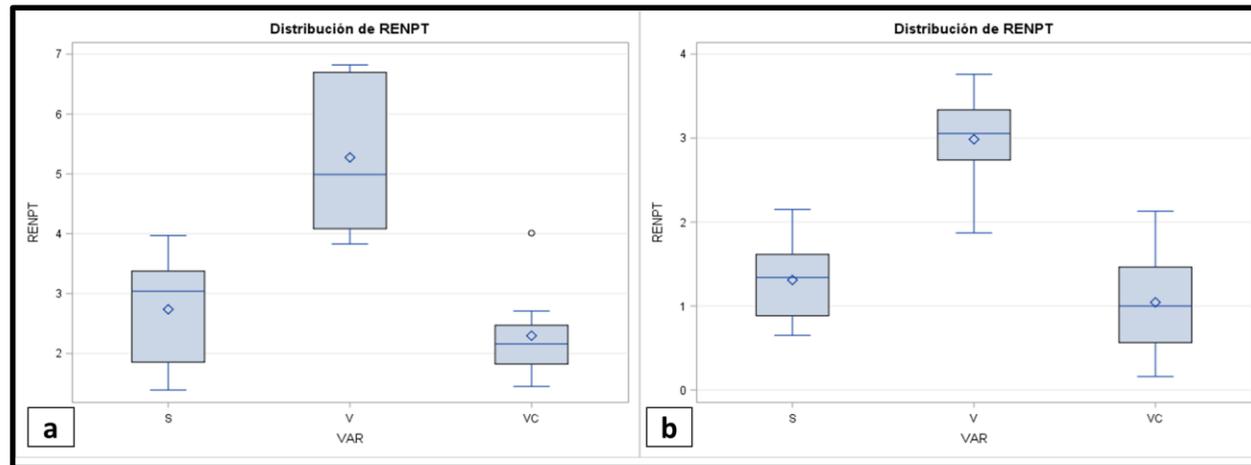


Figura 3 Rendimiento de fruto por planta (kg), por variedad en el ciclo 1 (a) y ciclo 2 (b).

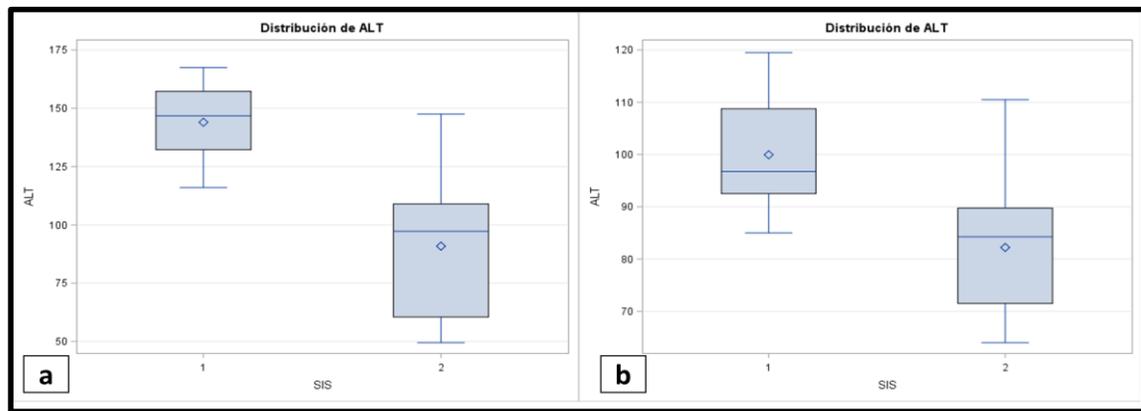


Figura 5. Altura de planta (cm), por sistema productivo hortícola protegida (S1) y campo abierto (S2) en el ciclo 1 (a) y ciclo 2 (b).

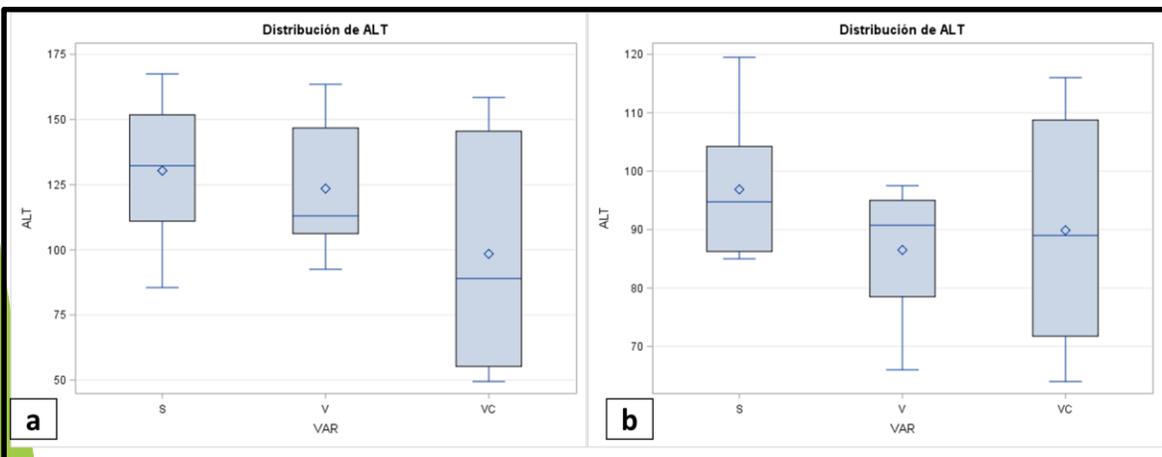


Figura 6. Altura de planta (cm), por variedad en el ciclo 1 (a) y ciclo 2 (b).

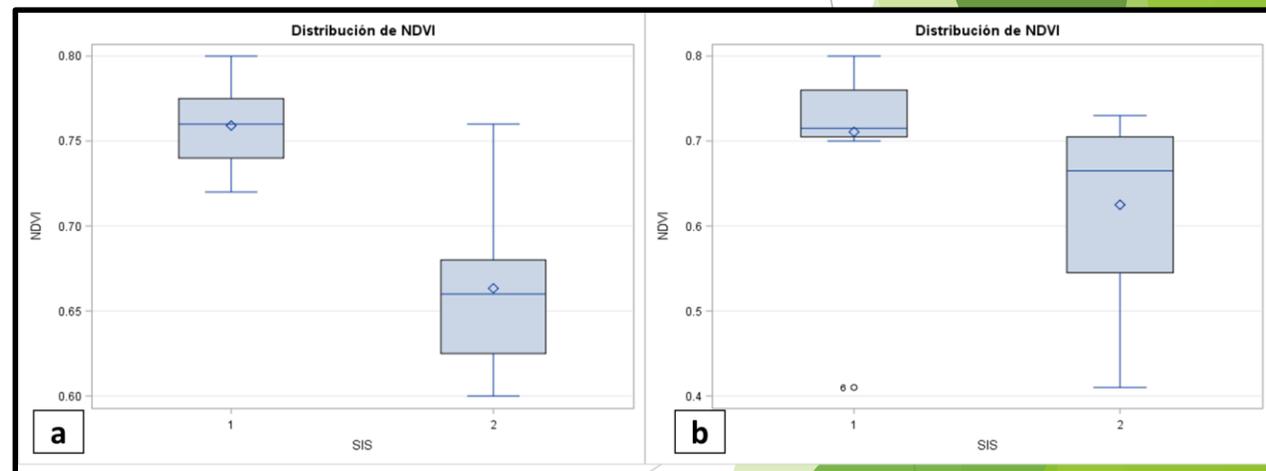


Figura 7. Valores NDVI, por sistema productivo hortícola protegida (S1) y campo abierto (S2) en el ciclo 1 (a) y ciclo 2 (b).

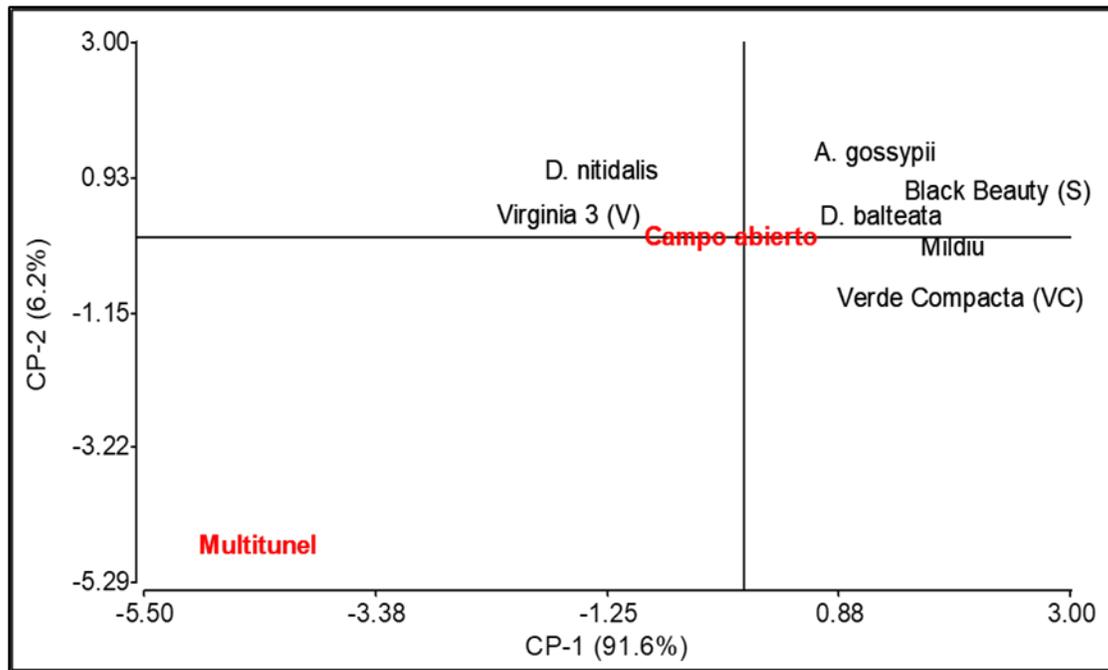


Figura 7. Análisis multivariado de componentes principales que incluye sistema productivo, variedades, densidad de poblaciones de insectos y el hongo mildiu en el cultivo de calabacín.



Figura 10: a) Lesiones de color amarillo limitadas por los nervios en el haz de las hojas causadas por *Pseudoperonospora cubensis* (Berk. & Curt.) Rost; b) Esporangióforos y esporangios de *P. cubensis*. Fotografía: Vidal Aguilera.



Figura 8 . Daño de *Diaphania nitidalis* en flores (A) y frutos (B) en cultivo de calabacín variedad virginia 3 en campo abierto. Fotografías: Anovel Amet Barba.

Figura 9 Fitófago defoliador *Diabrotica balteata* en flores (A) y hojas (B) del cultivo de calabacín en campo abierto. Fotografías: Anovel Amet Barba.



Figura 11. Síntomas de infección por el género Potyvirus en hojas, frutos y plantas de calabacín de la variedad Black Beauty (S). Fotografías: José Ángel Herrera Vásquez

Temperaturas externas e internas en el prototipo multitúnel con cultivos mensuales y diferencias de temperatura entre ambos sistemas. Estación experimental de El Ejido, Los Santos, Panamá. 2021-22.

MES	INTERIOR	Sección A-B	Sección CENTRAL	Sección C-D	EXTERIOR
Temperaturas (°C)					
Noviembre	27.6	28.0	27.9	27.5	27.4
Diciembre	28.4	29.0	28.9	28.4	28.0
Enero	28.2	28.5	28.5	27.9	28.2
Nov a Ene	28.2	28.6	28.6	28.0	28.0
Diferencias con la Temperatura Exterior					
Noviembre	0.2 ^{n.s.}	0.6 ^{n.s.}	0.5 ^{n.s.}	0.1 ^{n.s.}	
Diciembre	0.4*	1.0**	0.9**	0.4 ^{n.s.}	
Enero	0.0 ^{n.s.}	0.4 ^{n.s.}	0.4 ^{n.s.}	-0.3 ^{n.s.}	
Nov a Ene	0.2 ^{n.s.}	0.7**	0.6**	0.0 ^{n.s.}	

** , * = representan la significancia de la Prueba de t al 1 y 5% ^{n.s.}= No hay diferencias significativas.

no hay diferencias estadísticas en la temperatura para el promedio general (noviembre a enero) de las tres secciones internas y la temperatura externa. En el mes de diciembre si se encontró diferencias al 5% de significancia. Al analizar las tres secciones por separado se encontró que **dos secciones (la central y la derecha AB) presentan diferencias al 1% con respecto a la externa.**

En este mes la sección izquierda CD se mantiene con una temperatura similar a la temperatura externa.

Tabla 3 Presupuesto parcial de los sistemas de producción. Estación experimental de El Ejido, Los Santos, Panamá, 2022.

Actividad/detalle	Prototipo Multitúnel (1)	Campo Abierto (2)
Rendimiento medio (kg/520 m ²)	2348.76	1679.45
Rendimiento ajustado (kg/520 m ²) (5%)	2231.32	1595.48
Beneficios brutos de campo	3391.61	2425.12
Costo de Insumos para control de plagas	72.37	94.60
Costo de mano de obra para control de plagas	32.50	72.50
Costo de mano de obra para polinización	137.50	0.00
Costos mano de obra para poda	20.00	15.00
Total, de los costos que varían	262.37	182.10
Beneficios netos	3129.24	2243.02

Tabla 4. Análisis de Dominancia de los Sistemas de Producción de Calabacín.

Sistema	Variedad	Beneficio Neto	Costos Varían
2	S	902.53	182.10 D
2	V	2243.02	182.10
2	VC	728.67	182.10 D
1	S	1502.21	262.37 D
1	V	3129.23	262.37
1	VC	1178.83	262.37 D

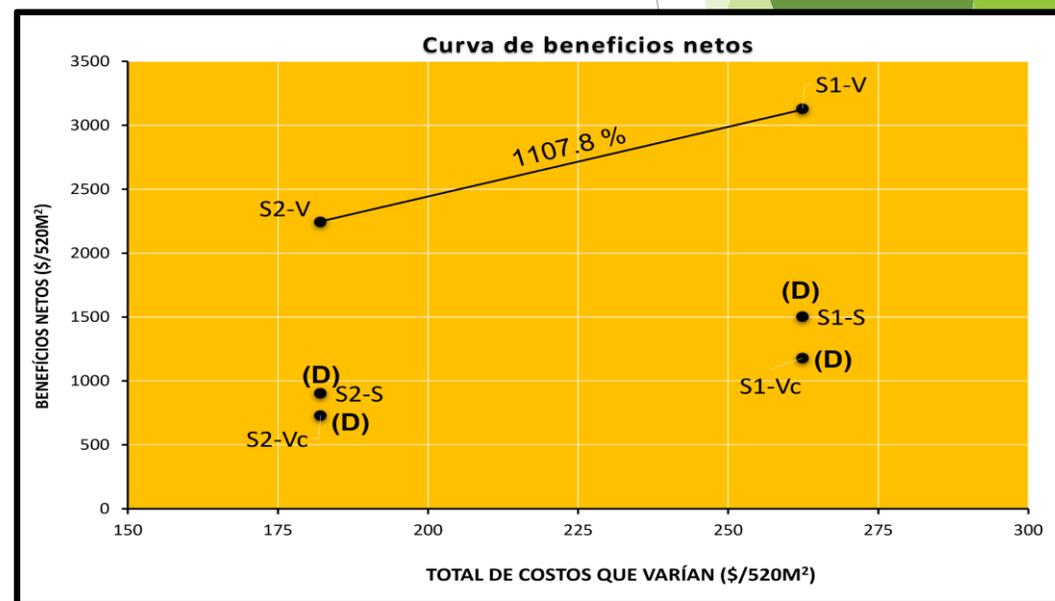


Figura 5 Curva de beneficios netos del sistema de producción de calabacín variedad Virginia 3 para el sistema prototipo multitúnel (S1-V).

Conclusiones

- ❑ Durante los **dos ciclos de cultivo se observó un incremento estadísticamente significativo en el rendimiento por sistema de cultivo**, campo abierto e invernadero multitúnel. Siendo la **variedad Virginia 3 una variedad que destaca por su precocidad y rendimiento** en relación con las variedades Verde Compacta y Black Beauty. Fue evidente el desarrollo foliar y altura alcanzada por variedades en el interior del invernadero en relación con el logrado en campo abierto y la calidad de los frutos por sistema de cultivo.
- ❑ En campo abierto se presentaron **mayor incidencia de plagas y enfermedades en cultivo de calabacín, afectando su calidad**. La incidencia de insectos vectores fue relativamente baja durante los períodos críticos, **las variedades mostraron alta susceptibilidad al Potyvirus**. Todas las variedades, presentaron **alta incidencia de mildiu en campo abierto**, aun cuando las lluvias fueron esporádicas.
- ❑ **El análisis económico de presupuesto** parcial reflejó que la **variedad Virginia 3**, produjo **mayores beneficios netos**, en el **invernadero multitúnel en relación con el cultivo en campo abierto**. Este incremento se debe a que se requieren **menores controles fitosanitarios** principalmente. A pesar de alta efectividad en la polinización manual en ambiente protegido en cultivo de calabacín, este tiene un alto costo lo que se refleja en análisis económico; **se requiere evaluar alternativas tecnológicas con polinizadores naturales**.

Equipo de Trabajo

Anovel Amet Barba A, Orlando Osorio Burgos, José Ángel Herrera Vásquez, Vidal Aguilera C, Luis Alberto Barahona, Rubén Samaniego, Arturo Batista, José Mejía, Edwin Villagrán, Noemi Quintero, Liliam Marquínez, Maika Barria, Nelson Osorio, Gloria Olave, Lilian Norato, Román Gordón, Milagro Castillo y José Alberto Yau.



INSTITUTO DE INNOVACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ



Iniciativas y Proyectos Investigadores



Prototipo Multitunnel modificado para producción resiliente de hortalizas en arco seco.

[https://proyectos.idiap.gob.pa/noticias/90/es/prototipo-multitunnel-modificado-para-produccion-resiliente-de-hortalizas-en-arco-seco.](https://proyectos.idiap.gob.pa/noticias/90/es/prototipo-multitunnel-modificado-para-produccion-resiliente-de-hortalizas-en-arco-seco)