

CULTIVOS AGROVOLTAICOS EN TOPILEJO, TLALPAN CDMX

Resultados de los primeros cultivos cosechados

Documento elaborado por	Dr. Aarón Sánchez Juárez Responsable Técnico del Proyecto Instituto de Energías Renovables Universidad Nacional Autónoma de México
Documento realizado para:	INFORME FINAL PROYECTO “PARCELA AGROVOLTAICA SOSTENIBLE EDUCACIONAL “
Institución financiadora:	Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación, SECTEI Ciudad de México

Contenido

Introducción.....	4
Efecto “Luz y Sombra” producida por la “Cubierta Fotovoltaica”	5
Generalidades de la superficie de cultivo.....	7
Plan de cultivos.....	8
Descripción de indicadores de impacto y valor de línea base.....	11
Premisas del estudio.....	12
Procedimiento para recolección de datos.....	12
Especies cosechadas.....	14
Efecto de la Cubierta Fotovoltaica en los cultivos.....	17
Indicadores Cuantificables del Producto Cosechado	18
Apariencia de las Plantas.....	37
Conclusiones Generales.....	39

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados preliminares de la cuantificación de indicadores de crecimiento para 6 de las 10 especies de hortalizas que fueron crecidas debajo de una “cubierta fotovoltaica”. Esta cubierta tiene forma rectangular, creada con hileras de módulos fotovoltaicos y espacios entre ellas, diseñada para maximizar la energía generada al año. El diseño permite que, durante el tránsito solar diario, la cubierta proyecte sobre el suelo un “juego” de luz y sombras romboidales. Las dimensiones de dicha cubierta son tal que permiten tener 24 espacios cuadrados, simétricos, con una superficie de 6.25 m². En dichos espacios se colocaron cajones de madera de 0.20 m de alto, los que fueron llenados con tierra de cultivo con un volumen de 1.25 m³ para crear el concepto de micro-parcela. Así, los cajones se “sembraron” en una configuración 6 renglones de 4 columnas siguiendo la orientación del eje mayor de la cubierta que es Norte-Sur.

Las hortalizas bajo estudio fueron: Cebollín (Cebolla blanca), Cebolla morada, Puerro, Col morada, Col verde, Brócoli, Coliflor, Lechuga italiana, Lechuga sangría y Acelga (sólo se reporta el crecimiento de las seis últimas). Las hortalizas se asociaron de 2 en 2, con base en sus semejanzas con respecto a la demanda de agua. Para la siembra se usaron plántulas provenientes del Estado de Puebla, debido a la similitud con el clima de San Miguel Topilejo, Tlalpan CDMX, donde se desarrolla el proyecto. Antes de sembrarse, las plántulas se aclimataron durante dos semanas para evitar el estrés asociado al trasplante. Las especies fueron sembradas el día 14 de septiembre de 2023 y, dependiendo del tiempo de madurez de cada especie, éstas fueron cosechadas en diferentes fechas. Cabe mencionar que, para el 5 de febrero de 2024, los cultivos de las cebollas, col morada y puerro no habían alcanzado la madurez para su cosecha.

Así, se identificaron los indicadores físicos cuantificables y de calidad cualitativa. Los resultados obtenidos, posterior a la cuantificación y observación, para cada una de las especies bajo estudio fueron, de forma general, los siguientes:

- a) *Para un mismo tiempo de cosecha, todas las especies que crecieron debajo de la cubierta fotovoltaica presentaron un tamaño y peso menor que aquellas que crecieron al aire libre.*
- b) *Las especies cultivadas debajo de una cubierta fotovoltaica requirieron de más tiempo de crecimiento para alcanzar su grado de madurez y cosecha. El tiempo dependió de la especie.*
- c) *La cubierta fotovoltaica provee de beneficios asociados a indicadores de calidad tales como color y aspecto, en comparación con los cultivos al aire libre.*
- d) *La cubierta fotovoltaica provee un micro clima que beneficia a los cultivos protegiéndolos contra las inclemencias del clima, así como disminuyendo su requerimiento de agua.*

Es importante aclarar que, estos resultados no son absolutos para todas las instalaciones agrovoltaicas, es decir, sólo corresponden a la geometría reticular de la cubierta fotovoltaica diseñada para el proyecto Parcela Agrovoltaica Sostenible y Educativa, a la climatología del sitio de desarrollo, así como a la tierra y cuidado de los cultivos durante su crecimiento. Cualquier otro diseño de cubierta fotovoltaica, cambio de clima u otra variación, puede resultar, en términos del crecimiento del producto en resultados distintos; sin embargo, las conclusiones anteriores tienen a ser de carácter general con base en los diferentes artículos publicados sobre cultivos agrovoltaicos.

Cabe mencionar que, no se incluyen referencias o bibliografías dado que este es un reporte sobre los resultados obtenidos en el proceso de medición y observación de los indicadores establecidos para realizar la comparación entre el comportamiento del crecimiento y características físicas de

ciertas especies de hortalizas crecidas bajo una cubierta fotovoltaica con aquellas crecidas a cielo abierto.

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas Agrovoltaicos o Agrovoltaicos (**Agro-FV**) son un componente importante de los actuales y futuros sistemas de producción de energía renovable. Lo anterior dado que, éstos garantizan la producción de alimentos, viabilidad económica de la agricultura y generación de energía al mismo tiempo. Sin embargo, con respecto al conflicto sobre el uso de la tierra, el valor real de los sistemas **Agro-FV**, que combina alimentos y sistema de producción de energía, requiere una clara demarcación principalmente su diseño geométrico, el cual, impacta la producción de energía, manteniendo al máximo la productividad agrícola.

Los experimentos de campo que abordan la utilización **Agro-FV** y su impacto en los cultivos han demostrado que, la eficiencia del uso de la tierra dual puede mejorar la generación de potencia eléctrica y la calidad alimentaria de los cultivos en comparación con la producción convencional. Investigadores en dichos sistemas **Agro-FV** también han encontrado que, el sombreado de los paneles fotovoltaicos proporciona múltiples beneficios aditivos y sinérgicos, incluida la reducción del estrés en los cultivos derivado del temporal de sequía, mayor producción de alimentos y mejor desempeño del arreglo FV debido a una disminución de su temperatura de operación producida por enfriamiento proveniente del cultivo debajo de él.

No obstante, aunque el rendimiento eléctrico y el beneficio económico de generación de energía pueden mejorarse aumentando la densidad ocupacional del Arreglo Fotovoltaico (**AFV**), hasta un 100% de la superficie, al mismo tiempo, se reduce la radiación solar hacia los cultivos sembrados debajo del AFV ya que los sombrea, disminuyendo la producción de ellos. Esto enfatiza la importancia de encontrar una relación adecuada entre producción de alimentos y energía.

Para nuestro proyecto, “Parcela Agrovoltaica Sostenible y Educativa, “**PASE**”, se construyó una Estructura Metálica Reticular elevada sobre la cual se instalaron 72 Módulos Fotovoltaicos (**MFV**) en una configuración de 6 hileras, separadas entre sí 1.45 m, integradas cada una con 12 MFV que, al transitar el Sol en su recorrido diario, proyecta un “juego” de luz y sombras, efecto “cebra”, de forma romboidal que “caerá” sobre los cultivos que se siembren debajo de las hileras de MFV. Para fines prácticos, al conjunto de hileras se les llamará “Cubierta Fotovoltaica” (**Cub-FV**).

Debajo de la Cub-FV se instalaron 24 cajones cuadrados sin fondo, de madera, con 2.5 m de lado y 20.0 cm de altura para el crecimiento de cultivos y formar el concepto de micro-parcela. De la misma manera, pero fuera de la Cub-FV se instalaron 6 cajones adicionales para el crecimiento de cultivos a cielo abierto. Dado que la temporada en que se terminó la infraestructura del “PASE” fue en septiembre y considerando la climatología del sitio, se decidió cultivar especies de la región correspondientes al ciclo otoño-invierno. Así, se seleccionaron las siguientes especies de hortalizas: Acelga, Brócoli, Cebollín (Cebolla blanca), Cebolla morada, Coliflor, Col morada, Col verde, Lechuga italiana, Lechuga sangría y Puerro.

Considerando que todas las especies fueron sembradas al mismo tiempo, el 14 de septiembre de 2023, y que algunas de ellas tienen un tiempo de madurez más corto que otras, en el presente

documento solamente se reportan aquellas especies que fueron cosechadas hasta el 5 de febrero de 2024.

EFFECTO “LUZ Y SOMBRA” PRODUCIDA POR LA “CUBIERTA FOTOVOLTAICA”

El diseño de la instalación fotovoltaica se realizó para garantizar máxima captación de energía anual con una estructura fija, con los MFV inclinados a la latitud del lugar ($19^{\circ}\pm 2^{\circ}$) con su cara viendo hacia el Sur geográfico. La instalación está integrada por 72 MFV instalados en 6 hileras de 12 MFV cada una, estando separadas una distancia de 1.45 m (**Figura 1** vista superior). Un corte transversal en la dirección Norte-Sur y en la dirección Este –Oeste se muestra en la **Figura 2**, notándose que la altura sobre el nivel del terreno de la Estructura Metálica Reticular (**EMR**) es de 3.0 m; la parte más baja de la posición de la hilera de MFV’s es de 3.56 m mientras que la parte más alta está a 4.079 m (≈ 4.1 m).

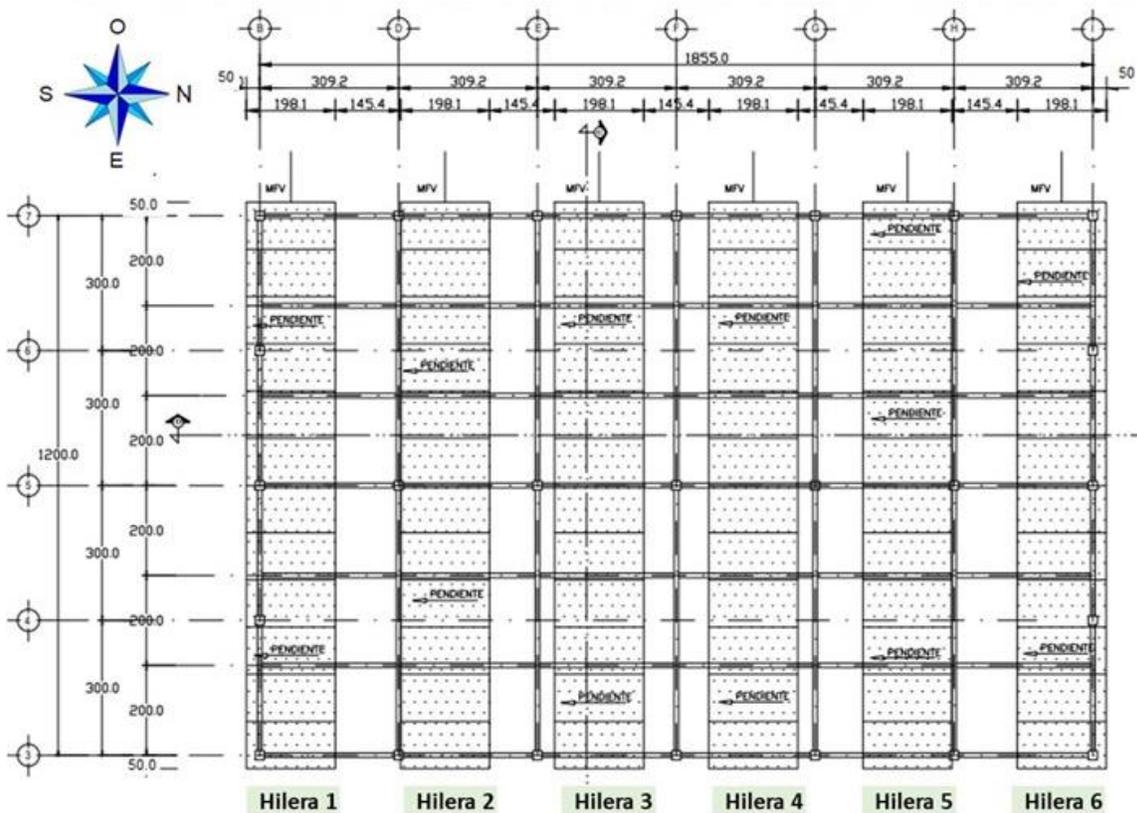


Figura 1: Proyección horizontal (vista superior) del sembrado de los 72 MFV’s colocados en hileras de 12 pzas cada una. La separación entre hileras es de 1.45 m

Al incidir la radiación solar directa sobre la **Cub-FV**, desde el amanecer hasta el anochecer, las 6 hileras de MFV’s, de forma rectangular con 2.28 m de ancho por 13.00 m de largo, proyectan sobre el suelo, un “juego” de luz y sombra de forma romboidal (forma de rectángulo deformado), cuya posición (Este-Oeste) y tamaños (ancho x largo) van variando conforme el Sol transita por el horizonte diariamente. El ancho y largo del romboide se puede calcular conociendo las dimensiones

del objeto (largo, ancho, altura) y el ángulo de elevación del Sol a la hora en que se desea determinar las dimensiones.

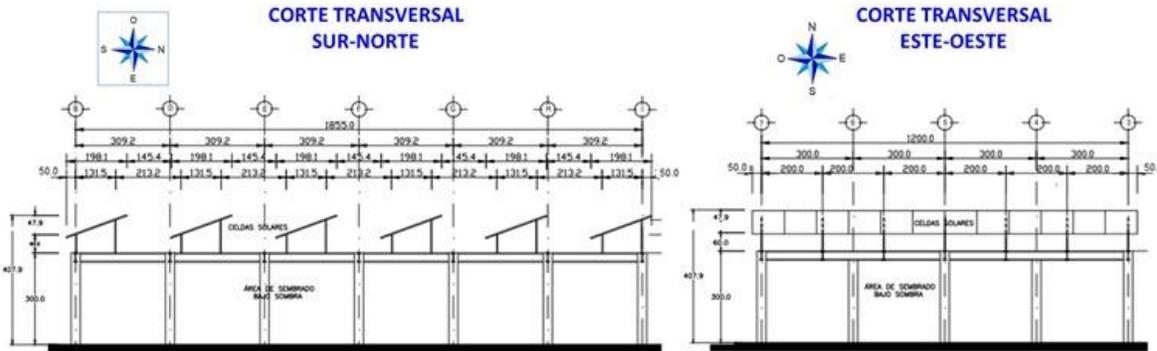


Figura 2: Vistas en corte transversal del sembrado de los MFV's instalados sobre la EMR.

El diseño de la instalación fotovoltaica permite que los cultivos sembrados debajo de la **Cub-FV** tengan la oportunidad, dependiendo de su ubicación debajo de ésta, de recibir en determinados días, cierta cantidad de radiación solar directa, que puede beneficiar su crecimiento. Por ejemplo, para el día 21 de diciembre, al medio día solar, la posición del Sol en el horizonte tiene un ángulo acimutal de 0° con un ángulo de elevación de 47.35° . Como el extremo inferior de las hileras de MFV's tiene una altura de 3.6 m y el superior está a 4.3 m, la Hilera 1 de MFV's proyecta una sombra sobre el suelo de 3.87 m. La sombra inicia a los 3.2 m de la proyección de la hilera sobre el suelo y se extiende 3.87 m hacia adentro. Para ese día, los Cajones del Renglón 1 reciben radiación solar directa casi totalmente; pero la sombra que se proyecta cubre todos los cajones del Renglón 2.

La **Figura 3** muestra una fotografía del “juego” luz y sombra que se produce sobre los cajones que contienen a las micro-parcelas, tomada el 29 de septiembre a las 13:55 h. Para ese día, en el sitio de instalación, con coordenadas $19^\circ 12.574''$ N; $99^\circ 9.225''$ W, el mediodía solar se llevó a cabo a las 12:28:12 hr. Local; en consecuencia, por simetría en el tránsito solar diario, la misma imagen se reproduce ese mismo día, por la mañana, a las 11:01 hr.



Figura 3: Efecto de luz y sombra que produce la Cub-FV. Día 29 sept 2023; 13:55 h

La **Figura 4** muestra otro conjunto de fotografías para el 22 de diciembre de 2023, observándose el cambio de tamaño del ancho de las sombras y de luz.



Figura 4: Efecto de luz y sombra que produce la **Cub-FV**. Día 22 de diciembre 11:38 hr. Antes del mediodía solar (12:36:18 hora local)

Comparando las fotografías de las **Figuras 3 y 4**, por ejemplo, para los cajones 1 al 4 del **Renglón 1**, se observa que, conforme se traslada la Tierra del inicio de otoño al inicio del invierno, el ancho del rectángulo de luz gradualmente aumenta su tamaño. Como consecuencia, las especies sembradas en dicho Renglón siempre están recibiendo los rayos solares captando mayor irradiación solar (energía) durante esa temporada (ciclo otoño-invierno), que aquellas especies sembradas en los cajones ubicados en los otros renglones; claro está, exceptuando aquellas zonas sombreadas por las columnas de la EMR.

Estas distribuciones de energía en la superficie debajo de la **Cub-FV** pueden afectar el crecimiento de las especies vegetales en dicha zona. De ahí la razón de investigar la fenología de los vegetales que crezcan bajo esas condiciones.

GENERALIDADES DE LA SUPERFICIE DE CULTIVO

El proyecto PASE es un laboratorio para el estudio del crecimiento de especies vegetales bajo una cubierta fotovoltaica (**Cub-FV**) cuyos módulos fotovoltaicos están instalados, sobre una Estructura Metálica Reticular (**EMR**), aproximadamente a 3.5 m de altura con respecto al nivel del suelo. Con una superficie rectangular con dimensiones aproximadas de 12.7 m de ancho por 19,0 m de largo, el diseño de la EMR permitió que dentro de ésta se tenga la capacidad de tener, 24 espacios que han sido confinados con cajones de madera, de forma cuadrada, de 2.5 m de lado, con una separación entre ellos aproximadamente de 0.70 m. Fuera de la EMR y para fines comparativos y de línea de base para el estudio de crecimiento, se colocaron 6 cajones adicionales.

Con una altura de 20 cm, cada cajón tiene una capacidad de contener 1.25 m³ de tierra de cultivo; y así, de esta manera, creamos el concepto de micro-parcela. En la **Figura 5** se muestra la distribución de la ubicación de las micro-parcelas tanto debajo de la **Cub-FV** como fuera de ésta, a cielo abierto.

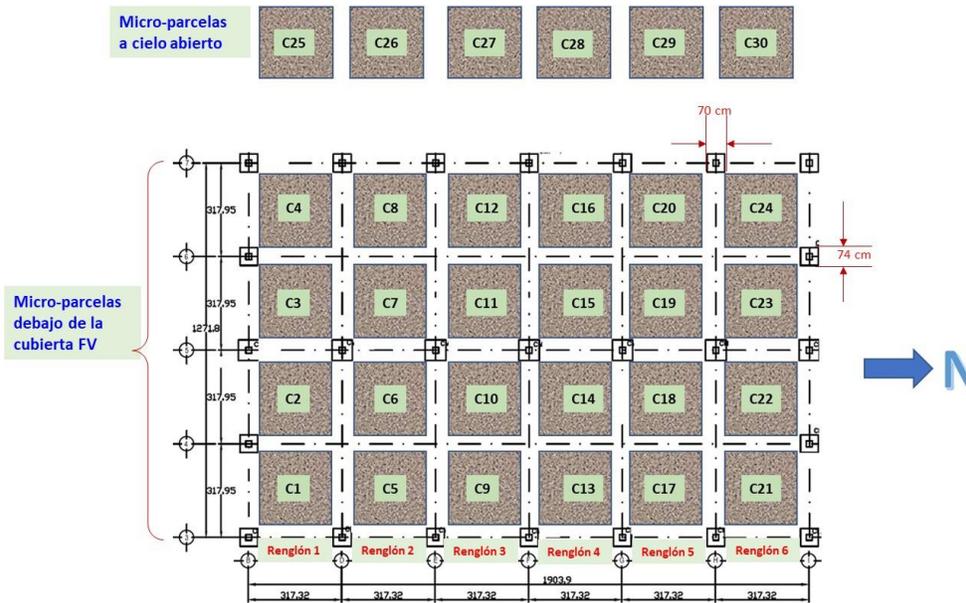


Figura 5: Distribución de las micro-parcelas en el campo experimental “PASE”

Cada micro-parcela tiene instalada su sistema de riego independiente que, a futuro con un sistema de control de riego automático, puede programarse el proceso de irrigación con base en experiencias adquiridas e información pública disponible respecto de las necesidades de agua de cada cultivo. En la **Figura 6** se muestra la información pertinente al diseño de los cajones, el concepto de micro-parcela y las componentes para el riego por goteo.

En el caso que aquí compete, para el estudio preliminar y de prueba de concepto de los primeros cultivos, se decidió seleccionar, junto con el Coordinador de Cultivos, Sr. Víctor Rodríguez Padilla, las especies de vegetales de acuerdo con el clima de la región y su experiencia. Para el ciclo Otoño-Invierno, que es el que aquí compete, los vegetales seleccionados fueron: Brócoli, puerro (Poro), cebolla morada, cebolla blanca, col verde, col morada, lechuga italiana, lechuga sangría, coliflor y acelga.

Además de los cajones que confinan a las micro-parcelas, se definió una zona de “surcos tradicionales” a un costado de los cajones instalados a cielo abierto.

PLAN DE CULTIVOS

El Plan de Cultivos aplicado fue el siguiente:

- 1) Se numeraron los cajones de la siguiente manera: Del 1 al 24, para los que están debajo de la cubierta FV; y del 25 al 30, para los que están a cielo abierto. Los cultivos fueron agrupados, con base en sus similitudes de requerimientos de agua y nutrientes, de 2 en 2.
- 2) Los cajones fueron llenados con una mezcla, en volumen, de tierra de campo del sitio, composta, estiércol y tezontle fino para dar porosidad, a una razón de 5:1:1:1, la cual la llamaremos tierra de cultivo.

- 3) Con base en la investigación realizada, los grupos de dos especies con similitudes son:
 - A: Brócoli y Puerro
 - B: Cebolla morada y col verde
 - C: Lechuga italiana y col morada
 - D: Cebollín y coliflor
 - E: Lechuga sangría y acelga
- 4) La tierra de la zona correspondiente a los cultivos destinados a crecer en el “surco tradicional” no se preparó con la mezcla de tierra de cultivo de los cajones, simplemente, se realizó un proceso de arado manual.



Figura 6: Cajones, micro-parcelas y riego por goteo. L1, L2, L3 y L4 determinan el alineamiento de los cultivos sembrados en la dirección Este-Oeste

Considerando lo anterior, cada cajón integra una micro-parcela que tiene dos hortalizas con similitudes, sembradas en tierra para cultivo en la composición antes descrita. Dada la distribución de las hortalizas y el número de cajones, se tiene para cada grupo de dos especies, 5 micro-parcelas que fueron identificadas por las letras que forman a los grupos de dos especies: A, B, C, D y E.

Para el proceso de cultivo, el coordinador adquirió “plántulas” de cada una de las especies consideradas; y con respecto a la densidad de sembrado, se decidió que cada plántula estuviera separada de su vecina a 50 cm. Dada las dimensiones de los cajones, la cantidad de plántulas sembradas en cada cajón fue de 16 pzas. Así que en cada micro-parcela, la **densidad de plantas por metro cuadrado fue de 2.6 plantas/m²**.

Las plántulas fueron sembradas siguiendo una línea recta, de manera alternada, de Este a Oeste; por ejemplo, Cajón 1 – Grupo A: Línea L1 de Puerro, Línea L2 de Brócoli; Línea L3 de Puerro; Línea L4 de Brócoli (ver **Figura 6**). En la **Figura 7** se muestra un diagrama esquemático de la manera en que fueron distribuidas los grupos de dos especies con similitudes. La distribución mostrada en dicha figura es tal que, para un mismo grupo, al mismo tiempo u hora del día, están recibiendo diferente

magnitud de irradiancia solar, lo que permite tener a futuro, información sobre el crecimiento de cada vegetal en función de la irradiancia e irradiación recibida. **El proceso de Siembra se realizó el día 14 de septiembre de 2023.**

Planificación

Para el ciclo otoño-invierno 2023-2024 fueron seleccionadas 10 especies de hortalizas: Cebolla morada, cebolla verde, lechuga italiana, lechuga sangría, coliflor, acelga, brócoli, puerro, col verde, col morada.

- En cada cajón se sembró dos especies diferentes que presenten similitudes de requerimientos de agua y nutrientes
- Las plántulas de las hortalizas en los cajones fueron sembradas a 50 cm de la pared del cajón de tal manera que el espacio entre plantas y de planta a la pared del cajón es de 50 cm;

Hortalizas con similitudes	
(A)	Brócoli y Puerro
(B)	Cebolla morada y Col verde
(C)	Lechuga italiana y Col morada
(D)	Cebolla blanca y Coliflor
(E)	Lechuga sangría y Acelga

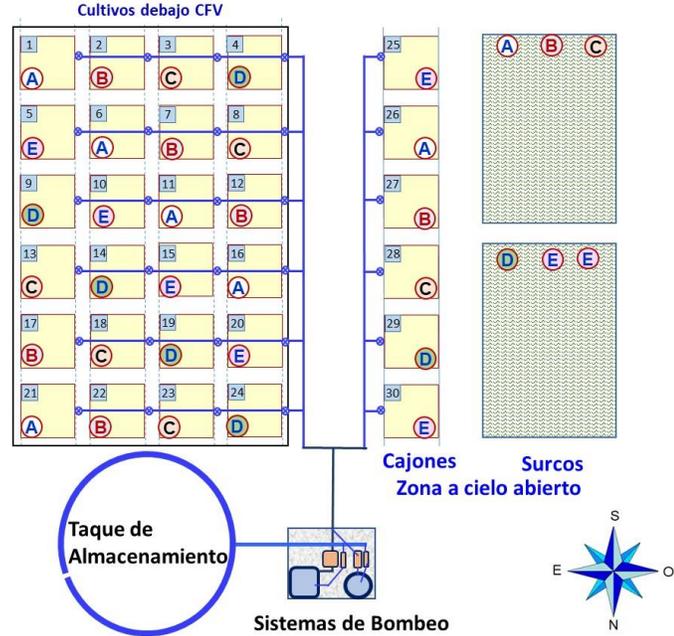


Figura 7: Plan de siembra para el ciclo otoño-invierno 2023-2024

Para los surcos a cielo abierto, la densidad de plantación es la que se muestra en la **Tabla 1**. Como podrá observarse, estos valores son superiores con respecto a los definidos para las micro-parcelas (2.6 plantas/m²).

Tabla 1: Número de plantas por metro cuadrado sembradas en los surcos tradicionales

DENSIDAD DE PLANTAS POR METRO CUADRADO EN SURCOS									
LECH-ITA	LECH SANG	ACELGA	BRÓCOLI	COL VERD	COLIFLOR	COL MOR	CEBOLLA B	CEBOLLA M	PUERRO
25	25	20	10	15	8	15	60	40	25

Con el objeto de tener una idea visual del crecimiento de las especies que fueron sembradas siguiendo las indicaciones anteriores, en las **Figuras 8 y 9** se muestran fotografías de dos etapas de su crecimiento: fecha de toma, 19 de octubre y 16 de noviembre de 2023, con , 35 y 63 días de crecimiento, respectivamente.



Figura 8: Etapa de crecimiento de las especies sembradas 35 días posteriores a su siembra



Figura 9: Etapa de crecimiento de las especies sembradas 63 días posteriores a su siembra

DESCRIPCIÓN DE INDICADORES DE IMPACTO Y VALOR DE LÍNEA BASE

En el cultivo de las plantas desde su siembra hasta su cosecha, llevando al cabo el proceso bajo las mismas condiciones de cultivo tanto a cielo abierto como bajo la **Cub-FV**, los indicadores identificados asociados al desarrollo de la producción y operación de la Parcela Agrovoltáica son los siguientes:

- a) *Número de plantas de las especies bajo estudio por m² (cuantificable)*
- b) *Tamaño de las plantas: altura y follaje (cuantificable)*
- c) *Peso de las plantas (cuantificable)*
- d) *Calidad de las plantas (cualitativo por apariencia)*
- e) *Tiempo de cultivo desde la siembra a la cosecha (cuantificable)*
- f) *Requerimiento de agua por m² (cuantificable)*

La Línea Base para comparación de los beneficios de la Parcela Agrovoltaica son aquellos valores que se tendrán para los cultivos a cielo abierto.

PREMISAS DEL ESTUDIO

- *Todos los cajones tienen el mismo volumen de tierra de cultivo*
- *La mezcla de tierra nativa, composta y estiércol que se preparó en cada cajón es homogénea*
- *Todas las plantas en los cajones recibieron el mismo volumen de agua: 3 litros con una incertidumbre de 0.5 litros*
- *El riego se hace cada tercer día, a manera de lluvia sobre la planta y de forma manual. No se contó con un medidor de flujo. El volumen provisto fue calculado empíricamente midiendo el tiempo en que se llena un recipiente de 20 litros, con la presión de la red hidráulica en el sitio.*
- *No se suministró fertilizante químico alguno excepto biológico conformado de estiércol de conejo diluido en agua a una razón del 10%, de acuerdo a las indicaciones del Coordinador de cultivos. Este se roció sobre las plantas a manera de humedecerlas con una periodicidad de 1 vez por semana.*

PROCEDIMIENTO PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

Con el objeto de tener un seguimiento sobre el comportamiento de crecimiento de las especies de vegetales sembradas, se diseñaron dos formatos de captura de datos físicos: a) uno para aplicarlo a la especie plantada (“in situ”) para cuantificar características de crecimiento visual que puedan medirse que incluyan el diámetro del follaje-tallo, la altura de la planta o follaje, y la existencia del fruto producido en su caso (ver **Figura 10**); y b), que se muestra en la **Figura 11**, aplicado para el producto cosechado, que incluye las medidas de las dimensiones físicas (raíz, altura, follaje) y el peso (bruto, producto, raíz y follaje).

En los formatos se anotó, la fecha en que es levantada la información, la especie-vegetal-producto; y para cada especie, el cajón de procedencia, la línea en la que está sembrada, su posición sobre la línea; posterior a eso, se realizaron las mediciones pertinentes. En la **Figura 12** se muestra la manera en que fueron tomados los datos.

Considerando que la forma en que se realizaron las mediciones “in situ” durante el periodo de crecimiento fueron realizadas no de forma sistemática, los resultados sobre los valores de los indicadores que se presentan a continuación son aquellos que corresponden a los productos cosechados.

CAJON		FECHA			
LÍNEA/VEGETAL	POSICIÓN	a	b	c	d
1	follaje/tallo				
	altura				
	fruto				
2	follaje/tallo				
	altura				
	fruto				
3	follaje/tallo				
	altura				
	fruto				
4	follaje/tallo				
	altura				
	fruto				

Figura 10: Formato para captura del crecimiento de la especie mediante la medición “in situ” de las características físicas visuales.

COSECHA								FECHA:			
MICRO PARCELA			POSICIÓN		DIMENSIONES FÍSICAS (cm)			PESO DEL PRODUCTO (kg)			
No.	CAJON	PRODUCTO	LÍNEA	SITIO	RAIZ	ALTURA	FOLLAJE	BRUTO	PRODUCTO	FOLLAJE	RAIZ
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											

Figura 11: Formato para captura de datos sobre las características físicas del producto cosechado

Concepto de altura: Medida realizada desde el nivel del suelo, donde comienza el tallo, hasta la parte mas alta del follaje u hoja, según sea el caso



Concepto de follaje: Medida realizada del "diámetro del follaje" viendo al vegetal desde la parte superior.

Tallo: Medida realizada del "diámetro" del vegetal, medido a nivel del suelo

Follaje y Fruto: Medida realizada del "diámetro" tanto del follaje como del fruto



Figura 12: Parámetros físicos y la forma en que ha sido realizada la medición

ESPECIES COSECHADAS

Se tuvieron dos fechas de cosecha debido a que unas especies alcanzan su madurez más pronto que otras. La **lechuga italiana**, la **lechuga sangría**, así como hojas de **acelga**, fueron cosechadas el 22 de noviembre 2023; mientras que el **brócoli**, **col verde** y **coliflor**, fueron cosechados durante enero y febrero del 2024. Cabe mencionar que, para el 5 de febrero de 2024, los cultivos de las cebollas, col morada y puerro no habían alcanzado su madurez para su cosecha por lo cual no fueron incluidas en este reporte.

Cosecha de noviembre de 2023

En la **Figura 13** se presentan fotografías de las especies cosechadas el 22 de noviembre 2023 (ver Tablas 2, 3 y 4).

Los cultivos en los cajones C3, C8, C13, C18, y C23, que contienen lechuga italiana y col morada, así como los cultivos en los cajones C5, C10, C15, C20, que contienen lechuga sangría y acelga, están debajo de la **Cub-FV**; mientras que los cultivos en los cajones C25, C30 (lechuga sangría y acelga) y C28 (lechuga italiana y col morada), están a cielo abierto.

Por simple inspección visual, comparando el tamaño de los productos, lechuga sangría, lechuga italiana y acelga, se observa una gran diferencia entre los que están debajo de la **Cub-FV** respecto los que están afuera de ella: los de adentro "se ven" más pequeños que los de afuera.

Comparando entre si los productos que están debajo de la **Cub-FV**, tanto las lechugas sangría, las italianas, así como las hojas de las acelgas, se observan del mismo tamaño.

Los cultivos a cielo abierto que están en los cajones C25, C28 y C30 crecieron en una tierra de cultivo preparada con composta y estiércol ya mencionado anteriormente; mientras que los cultivos en los surcos, solamente fue la tierra "nativa" del lugar. Comparando los productos de dichos cajones con

el de los surcos, no se observa diferencias entre ellos, aunque la densidad de plantas de estos últimos es mayor que aquella en los cajones, no presentaron competencia de plantas vecinas por los nutrientes.

LECHUGA SANGRÍA; LECHUGA ITALIANA; ACELGA



Figura 13: Especies de vegetales que fueron cosechados el 22 de noviembre de 2023. Fotografías tomadas el 9 de noviembre a 56 días de que fueron sembrados

Es importante mencionar que, no se presentaron heladas durante el periodo de crecimiento de esas especies y que la temperatura media observada fue de 21°C, dato proveniente del Sistema Meteorológico Nacional.

Cosecha de enero y febrero 2024

El brócoli, la col verde y coliflor fueron cosechadas en tres o cuatro periodos comprendidos entre el 5 de enero al 5 de febrero de 2024 (ver Tablas 5, 6 y 7). En la **Figura 14** se muestran fotografías de las especies de brócoli y col verde, capturadas en diciembre de 2023; mientras que en la **Figura 15**, se presentan fotografías de la especie coliflor, de enero de 2024.

Como puede observarse en la **Figura 14**, se vuelve a evidenciar que los cultivos que han crecido a cielo abierto, cajón C26, cajón C27 y surcos, aparecen de mayor tamaño que aquellos que crecieron debajo de la **Cub-FV**, Cajones C6, C11, C21 (coliflor) y cajones C1 (especie sembrada en cajón equivocado), C7 y C12. Para estos últimos, se observa que el crecimiento de cada especie es parejo (casi del mismo tamaño).

Con respecto a los cultivos en los surcos, se observa en ambas especies que las plantas, con el follaje exuberante, se enciman unas a otras, es decir un amontonamiento entre ellas: crecen parejo pero con productos (paellas) más pequeñas que aquellas que tienen las plantas crecidas en los cajones C26 y C27 (cajones a cielo abierto). Lo anterior significa que, dada la alta densidad de plantas

sembradas (#plantas/m²), existe entre plantas vecinas una competencia de nutrientes, por lo que las paellas son más pequeñas.

BRÓCOLI; COL VERDE



Figura 14: Fotografías de las especies tomadas el 29 de diciembre 2023 antes de ser cosechadas

Para el caso de la Coliflor, la **Figura 15** muestra similar comportamiento, sin embargo, al comparar la forma del follaje entre los cultivos dentro de la **Cub-FV** y a cielo abierto, se observa que éstas últimas se ven maltratadas y que las hojas, de las plantas, como que trataron de proteger el producto de las inclemencias del clima propio del invierno en esa zona: viento, heladas y sol (índice de UV alto).



Figura 15: Fotografías “in situ”, de las especies de Coliflor tomadas el 12 de enero 2024 antes de ser cosechadas.

EFFECTO DE LA CUBIERTA FOTOVOLTAICA EN LOS CULTIVOS

En la temporada invernal, la probabilidad de heladas en la zona alta de la Alcaldía de Tlalpan, en donde se encuentra el pueblo de San Miguel Topilejo es muy alta. En el mes de diciembre de 2023 e inicios del mes de enero de 2024, se registraron por las noches, temperaturas medias menores a 7°C con valores mínimos de 1°C; con respecto a ráfagas de viento frío, se reportaron velocidades de hasta 3.5 m/s a nivel de suelo.

La combinación de ambos fenómenos ocasionó que algunas plantas que han estado creciendo a cielo abierto, sufrieran los efectos del clima marchitándose, doblándose e inclusive, muriendo, como fue el caso de algunas plantas de coliflor tanto en el cajón a cielo abierto C29 como aquellas de los surcos (ver **Figura 16**, cajón C27). Este efecto también se observó en las plantas de cempasúchil que fueron sembradas como repelentes de plagas.

Sin embargo, para las plantas que crecieron debajo de la **Cub-FV**, el efecto del clima fue mínimo. Esto se pone en evidencia con las plantas testigo de cempasúchil, que para referencia gráfica se muestra en los cajones C12 o las del corredor central, de la **Figura 16**: su apariencia es viva, con buen color. Las demás plantas no han sufrido las inclemencias de las heladas, evidenciando esto por el color de sus follajes, mostrando una apariencia “saludable”, mejor que las que crecieron a cielo abierto.



Figura 16: Evidencias del efecto de las heladas y vientos fríos sobre los cultivos a cielo abierto

Las observaciones anteriores se explican aseverando que debajo de la Cub-FV se crea un microclima que favorece a las plantas protegiéndolas de las inclemencias del tiempo; adicionalmente, de acuerdo con las observaciones realizadas por el coordinador de cultivos, se tuvo que disminuir el volumen de riego para los cultivos debajo de la Cub-FV a un valor de 2.5 litros por planta para igualar los valores de humedad relativa del suelo dentro y fuera de la Cub-FV. Es decir, la Cub-FV reduce significativamente la evapotranspiración de las plantas teniendo un ahorro, calculado

empíricamente, con un valor aproximado del 16.7% en esta temporada de invierno, en la cual, de acuerdo con el Atlas del Tiempo¹ el valor promedio de la humedad relativa del ambiente en los meses de septiembre a diciembre fue de 67.5%.

INDICADORES CUANTIFICABLES DEL PRODUCTO COSECHADO

Especie Lechuga Sangría

El proceso de cosecha se realizó de manera tradicional, manualmente, extrayendo la planta de la tierra con toda raíz. Posterior a eso, fueron sacudidas para eliminar toda la tierra que queda atrapada en las ramificaciones de la raíz. No se lavaron para evitar agregar agua al peso del producto.

Para obtener los valores de los parámetros físicos de interés se usó un flexómetro graduado en milímetros, con una incertidumbre de ± 0.5 mm. El producto a medir fue colocado sobre la superficie de un pizarrón “color blanco”, descansando sobre ésta; se colocaron líneas limítrofes en los extremos del follaje y se definió el punto de transición tierra-aire como la referencia para medir altura de follaje y longitud de raíz. Se reconoce que hay una incertidumbre grande con este método de medición, propiciada por el paralejo visual al colocar las líneas limítrofes, la cual fue calculada con un valor de ± 1.0 cm. En la **Figura 17** se muestra fotografías de las mediciones determinadas.

En esa figura se observa que hay una diferencia significativa en el color, forma y tamaño de las plantas que crecieron debajo de la Cub-FV con respecto a las crecidas al aire libre, ya sea en los cajones o en los surcos; estas últimas tienen el color característico de la especie (violáceo), mientras que las de la Cub-FV son un poco más verdes que violáceas.

En la **Tabla 2** se muestran el condensado de valores medidos de las características físicas de la lechuga sangría, cultivos E, cosechadas el 22 de noviembre, a 69 días posteriores a la fecha de siembra. Dentro de los indicadores considerados a determinar, el peso del producto puede ser el parámetro comercial que puede ser indicativo de la calidad de producto; pero también, la presentación visual del follaje es importante para su comercialización. Tomando en consideración lo anterior, se calcularon los promedios del peso de la especie en cuestión crecidas debajo de la **Cub-FV** y se compararon con la magnitud del promedio del peso de la especie crecida a cielo abierto.

Los resultados fueron los siguientes:

- El valor Promedio del peso de las plantas cultivadas bajo la Cub-FV en los cajones **C5, C10, C15 y C20 en L2** fue de **290.58 gr.**, mientras que para la **L4 fue de 292.93 gr.** (muy similares).
- El valor Promedio del peso de las plantas cultivadas a cielo abierto en el cajón **C25 en L1** fue de **606.33 gr.**, mientras que para la **L3 fue de 597.58 gr.**; así que el promedio de estos dos valores fue de **601.96 gr.**
- El valor promedio del peso para las especies cosechadas a cielo abierto en el cajón **C30, en L1** fue de **672.54 gr.**, y en la **L3 fue de 623.79 gr.**, lo que da un promedio de **648.17 gr.**
- Por comparación de estos resultados, se obtuvo que **el cultivo que crece en la L1 a cielo abierto fue 2.07 veces más pesado que el que creció debajo de la L2 de la Cub-FV.**

¹ <https://www.weather-atlas.com/es/mexico/topilejo-el-tiempo-en-diciembre>

- Lo mismo sucede para la comparación de los valores promedio del peso de los cultivos que crecen debajo de la **Cub-FV**; se tiene que el **cultivo crecido en la L3, a cielo abierto, es 2.21 veces más pesado que el de la L4 de la Cub-FV.**

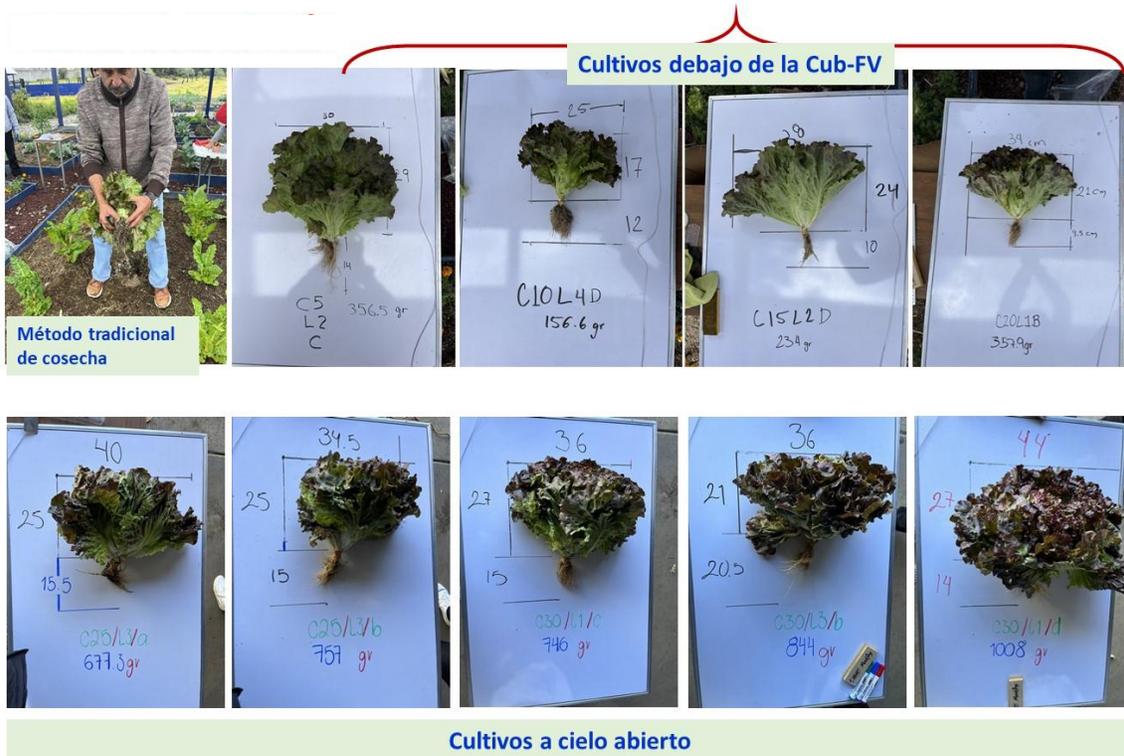


Figura 17: Fotografías de lechugas sangrías cosechadas: Método tradicional de cosecha y técnica de medición de los parámetros físicos de las plantas cosechadas. La planta de mayor peso fue la que creció a cielo abierto en el cajón C30-L1, posición d con peso de 1,008 gr (≈ 1.0 kg)

Conclusiones Lechuga Sangría

- 1) Se presentó variación en la coloración de los productos de las plantas sembradas en el cajón C10 (siempre estuvieron debajo de la sombra proyectada por la Cub-FV), que presentaron un follaje color verde con zonas rojizas, mientras que los productos del cajón C20 (con incidencia de radiación solar directa vespertina), mostraron el color rojo sangría típico.
- 2) Dado que el peso de los cultivos crecidos en todos los cajones debajo de la **Cub-FV** fue similar, con una diferencia entre ambos de 2.35 gr, se determina que, con la configuración geométrica de la **Cub-FV**, el crecimiento de la especie cultivada NO se ve afectado por la intensidad lumínica o radiación solar global debajo de la **Cub-FV**.
- 3) Los productos que crecieron a cielo abierto son de mayor tamaño y peso (entre 2.07 y 2.2 veces más en peso) que los que se desarrollaron de la Cub-FV
- 4) El crecimiento de los productos debajo de la **Cub-FV** se ve reducido tanto en tamaño del follaje como en peso, pudiendo ser una de las causas, la disminución o bloqueo de la intensidad de la radiación solar directa (irradiancia directa) que retarda su crecimiento.
- 5) Estudios futuros deben hacerse relacionados con el tiempo de exposición a la radiación solar que induce el crecimiento; es decir, darle a la planta más tiempo para que alcance su desarrollo plenamente.

Tabla 2: Valores medidos de los indicadores de interés de la Lechuga Sangría. Todas las plantas fueron cosechadas el día 22 de noviembre, a los 69 días del sembrado. El sombreado color naranja indica los cultivos a cielo abierto.

CAJÓN	PRODUCTO	LINEA	POSICIÓN	PESO (g)	Long RAÍZ (cm)	Ancho RAÍZ (cm)	ALTURA (cm)	FOLLAJE L (cm)	FOLLAJE SUP (cm ²)	Valor promedio Peso (g)
C5	Lechuga Sangría	2	a	472.8	9	17	25.5	37	22x23	418.83
			b	593	12	16	27	30	38x30	
			c	356.5	10	14	29	30	30x27	
			d	253	11	15			34x24	
C10	Lechuga Sangría	2	a	233.5	9	0	21	35	31x29	267.83
			b	284	12	0	26	34	33x24	
			c	313.5	13	0	24	36	35x25	
			d	240.3	10	0	23	30	25x24	
C15	Lechuga Sangría	2	a	157.1	11	0	21	31	32x23	180.40
			b	251.9	11	0	23	40	28x28	
			c	78.6	10	0	19	26	20x19	
			d	234	10	0	24	38	29x26	
C20	Lechuga Sangría	1	a	357.9	9	0	25	34	28x33	295.28
			b	357.9	9.5	0	21	34	30x24	
			c	135.3	9.3	0	20	25.6	29x30	
			d	330	10.3	0	20.3	32.5	30x28	
C25	Lechuga Sangría	1	a	419.5	9	12	25	37	30x36	606.33
			b	788.9	11	0	25	42	31x34	
			c	885.7	9	15	25	40	25x26	
			d	331.2	8	11	25	33	29x28	
C30	Lechuga Sangría	1	a	631	10	12.5	25	36.5	29x37	738.75
			b	570	12	15	25	39	32x39	
			c	746	12	15	27	36	33x36	
			d	1008	12	16	27	44	43x43	
290.58										
672.54										
CAJÓN	PRODUCTO	LINEA	POSICIÓN	PESO (g)	Long RAÍZ (cm)	Ancho RAÍZ (cm)	ALTURA (cm)	FOLLAJE L (cm)	FOLLAJE SUP (cm ²)	Valor promedio Peso (g)
C5	Lechuga Sangría	4	a	422	11	0	25	28.5	37x29	360.58
			b	344	10.5	17	23	29	33x23	
			c	305.5	11.5	0	22	27.5	34x25	
			d	370.8	9.5	17	25	31.5	36x29	
C10	Lechuga Sangría	4	a	351.1	9	16	22	36	32x25	259.73
			b	248.6	11	16	21	36	28x34	
			c	282.6	11	15	20	36	30x27	
			d	156.6	12	0	17	25	25x21	
C15	Lechuga Sangría	4	a	169	9	14	21	25	25x22	262.25
			b	314.3	9	11	21	32	29x22	
			c	257.7	8	0	22	32	28x23	
			d	308	11	14	22	33	30x28	
C20	Lechuga Sangría	3	a	268.2	8.5	0	24	27.5	28x33	289.18
			b	264.3	9	0	24	25	24x21	
			c	511.6	11	0	25.5	40.5	32x35	
			d	112.6	4	11	18	29	19x24	
C25	Lechuga Sangría	3	a	677.3	11	15.5	25	40	33x27	597.58
			b	757	10	15	25	34.5	31x33	
			c	482	10	0	13.5	34.5	35x35	
			d	474	11.5	0	21	32	30x30	
C30	Lechuga Sangría	3	a	662	12.5	0	27	39	30x34	650.00
			b	844	14	20.5	21	36	33x38	
			c	338	9	0	24.5	32	28x26	
			d	756	11	13	29	36	36x36	
292.93										
623.79										

Especie Lechuga Italiana

El proceso de cosecha se realizó de la misma forma que para el caso anterior. De igual manera tanto manejo post cosecha como el proceso de medición de parámetros indicadores fue el mismo que para la lechuga sangría. En la **Figura 18** se muestra algunas fotografías de las mediciones para los parámetros indicadores que se analizaron. Se determinó que la planta de mayor peso y tamaño fue la que creció, a cielo abierto, en el cajón C28-L4, posición d, con un valor de 973.8 gr (≈ 0.974 kg).

En la **Tabla 3** se muestran el condensado de valores medidos de las características físicas realizadas a la especie Lechuga Italiana, cultivos cosechados el 22 de noviembre, a 69 días posteriores a la fecha de siembra.

Los resultados fueron los siguientes:

- El valor promedio del peso de las lechugas cultivadas bajo la Cub FV en los cajones **C3, C8, C13 y C20** en **L1 o L2** fue de **325.59 gr**, mientras que para la **L3 o L4** fue de **233.31 gr** (muy similares).
- El valor Promedio del peso de las lechugas cultivadas a cielo abierto en el cajón **C28** en **L2** fue de **853.68 gr**, mientras que para la **L4** fue de **761.13 gr**.
- Por comparación de estos resultados, se obtuvo que **el cultivo que crece en la L2 a cielo abierto fue 2.62 veces más pesado que el que creció debajo de la L1 o L2 de la Cub-FV**.
- Lo mismo sucede para la comparación de los valores promedio del peso de los cultivos que crecen debajo de la **Cub-FV**; se tiene que **el cultivo crecido en la L4, a cielo abierto, es 3.26 veces más pesado que el de la L3 o L4 de la Cub-FV**.

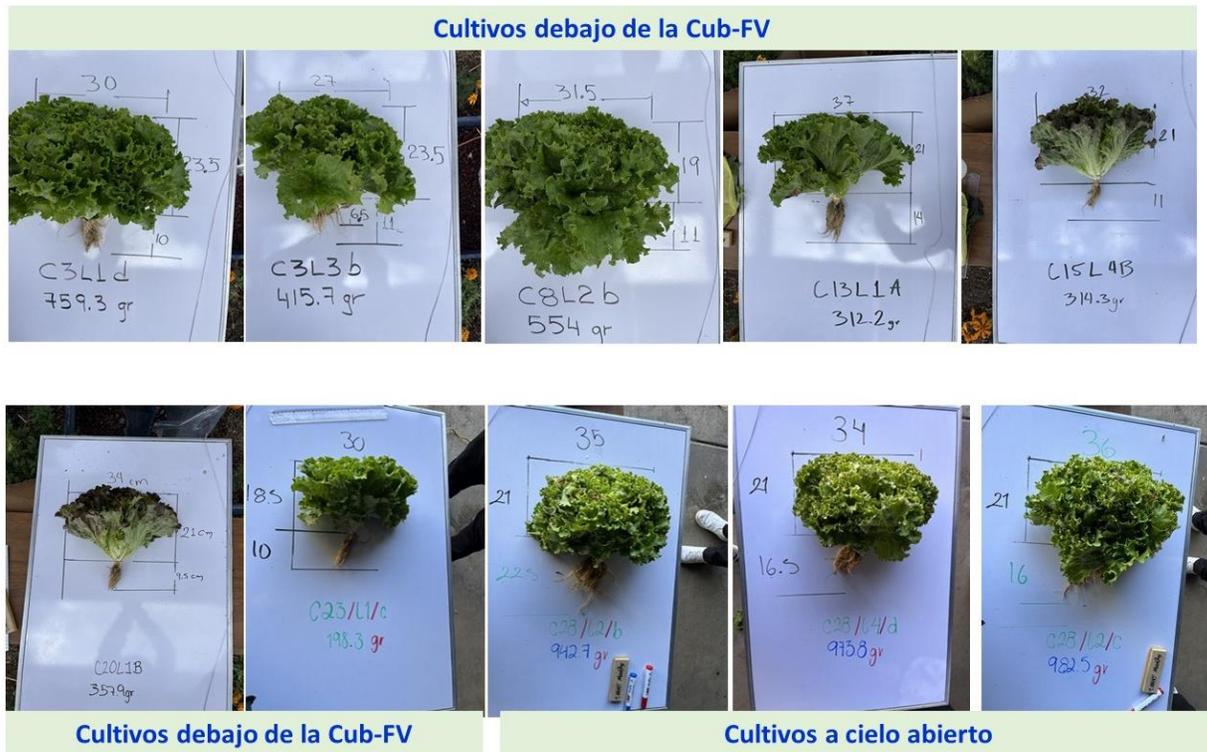


Figura 18: Fotografías de las especies cosechadas de lechuga italiana: Método tradicional de cosecha y técnica de medición de los parámetros físicos de las plantas cosechadas. Nomenclatura usada: Cajón-Línea-Posición en la línea.

Tabla 3: Valores medidos de los indicadores de interés asociados a la Lechuga Italiana. Todas las plantas fueron cosechadas el día 22 de noviembre, a los 69 días del sembrado. El sombreado color naranja indica los cultivos a cielo abierto.

CAJÓN	PRODUCTO	LÍNEA	POSICIÓN	PESO (g)	Long RAÍZ (cm)	Ancho RAÍZ (cm)	ALTURA (cm)	FOLLAJE L (cm)	FOLLAJE SUP (cm ²)	Valor promedio Peso (g)	
C3	Lechuga Italiana	1	a	387.2	10	0	22.5	27	32x34	524.88	325.59
			b	283.1	4	0	19	27	32x26		
			c	669.9	8	0	23.5	30	33x34		
			d	759.3	10	0	23.5	30	38x34		
C8	Lechuga Italiana	2	a	448.1		13	18.5	28.5	26x31	416.68	
			b	554	11	0	19	31.5	37x33		
			c	447.3	11	0	19	27.5	33x31		
			d	217.3	7.5	16	16	23	30x23		
C13	Lechuga Italiana	1	a	312.2	8	14	21	37	35x24	264.43	
			b	173.7	7	14	22	32	30x23		
			c	183.5	9	16	19	32	31x22		
			d	388.3	12	14	22	38	34x27		
C18	Lechuga Italiana	1	a	302	9	12	22	32	31x27	255.03	
			b	194.5	8	0	20	33	28x28		
			c	219.8	9	0	21	30	29x24		
			d	303.8	8	0	24	33	32x31		
C23	Lechuga Italiana	1	a	198.5	7	11	21	29.5	27x23	166.93	
			b	150.8	6.5	0	18.5	30	23x23		
			c	198.3	10	0	18.5	30	29x25		
			d	120.1	9	11	18.5	28	19x24		
C28	Lechuga Italiana	2	a	586.9	13	0	21	34	31x33	853.68	853.68
			b	942.7	15	22.5	21	35	37x36		
			c	982.5	14	16	21	36	38x39		
			d	902.6	9	16	21	37.5	38x36		
C3	Lechuga Italiana	3	a	266.3	7	0	19	27.5	26x39	274.80	233.31
			b	415.7	6.5	11	23.5	27	32x37		
			c	270.7	9.5	12	18	25	32x25		
			d	146.5	7	13	14	20	26x21		
C8	Lechuga Italiana	4	a	239	11	0	17	24.5	31x32	273.58	
			b	238.5	9	11.5	17	22	33x22		
			c	508.4	16	0	17	28	37x28		
			d	108.4	7	0	11	17	22x17		
C13	Lechuga Italiana	3	a	443.8	10	12	21	39	32x34	273.25	
			b	125.7	8	0	17	29	19x18		
			c	366.4	10	14	23	35	no está		
			d	157.1	11	0	21	31	33x26		
C18	Lechuga Italiana	3	a	158.3	11	0	21	28	27x29	187.50	
			b	186.8	7	0	21	34	30x24		
			c	153.5	7	0	22	29	20x29		
			d	251.4	8	0	23	38	33x21		
C23	Lechuga Italiana	3	a	136.6	9	0	18.5	31	19x29	157.40	
			b	93.2	11	0	18.5	25	20x21		
			c	270	12.8	0	21.5	35	28x32		
			d	129.8	9	0	22.1	26	22x25		
C28	Lechuga Italiana	4	a	505	11.5	0	21	38	33x35	761.13	761.13
			b	728.3	10	18.5	21	35.5	31x34		
			c	837.4	12	18.5	21	32.5	34x38		
			d	973.8	10	16.5	21	34	31x33		

Conclusiones Lechuga Italiana

- 1) Dado que el peso de los cultivos crecidos en todos los cajones debajo de la Cub-FV no es similar, con una diferencia entre ambos de 92.3 gr, se determina que, con la configuración geométrica de instalación de los módulos FV que forman la **Cub-FV**, el crecimiento de las plantas se ve afectado por la intensidad lumínica o radiación solar global debajo de la **Cub-FV**.
- 2) Las plantas que han crecido a cielo abierto son de mayor tamaño y peso que aquellas que han crecido debajo de la Cub-FV. La diferencia fue de hasta 3.26 veces más pesadas.
- 3) Como resultado de las mediciones realizadas a los parámetros indicadores, se tiene que, para el caso de la Lechuga Italiana, el crecimiento de los productos debajo de la **Cub-FV** se ve disminuido tanto en tamaño del follaje como en peso, siendo una de las causas, la disminución de la intensidad de la radiación solar global, que para esta especie es baja.
- 4) Se deben llevar a cabo estudios con mayor tiempo de crecimiento para analizar cuánto tiempo requiere esta especie para alcanzar los valores de los indicadores medidos para los cultivos a cielo abierto.

Especie Acelga

El método de cosecha para esta hortaliza fue diferente que para los casos de la lechuga italiana y sangría; a saber, se cortaron 6 HOJAS de cada planta, de cada posición, representativas del crecimiento de ella; y para el proceso de medición, solamente se eligió a la más grande. El método de cortado se realizó con una navaja.

En la **Figura 19** se presentan las diferentes etapas de crecimiento de las plantas de Acelga, mostrándose también las plantas de Lechuga sangría, para dos diferentes días: 19 de octubre a 35 días de haberse sembrado y 16 de noviembre a 63 días después de la siembra. Se puede observar, para el día 16 de noviembre, la diferencia en el color y forma de las hojas de la planta de Acelga que han crecido a cielo abierto, se ven menos verdes, deformes y maltratadas, con respecto a aquellas debajo de la **Cub-FV**. Evidencia de que ésta, protege a las plantas de las inclemencias del clima local.



Figura 19: Etapas de crecimiento de las plantas de Acelga y Lechuga Sangría sembradas debajo de la Cub-FV y al aire libre.

Con el objeto de tener un indicador de comparación entre las hojas provenientes de los diferentes cajones se establecieron el concepto de “LONGITUD”, “ANCHO” Y “FOLLAJE”. El concepto de “LONGITUD” se definió como la distancia desde el punto en donde comienza la formación de la hoja el tallo hasta la punta de ésta; el concepto de “ANCHO”, corresponde a la distancia más larga de los extremos de la hoja, perpendicular al tallo; y el concepto de FOLLAJE se estableció como el producto de los valores de la “LONGITUD” con el “ANCHO”. En la **Figura 20** se muestra la definición de los conceptos “LONGITUD” y “ANCHO” en varias formas de hojas. Así mismo, en la **Figura 21** se muestra el conjunto de fotografías de las HOJAS cortadas de las plantas en cada una de las posiciones respectivas. Es importante especificar que la ACELGA fue la especie que se sembró en conjunto con la LECHUGA SANGRÍA. De las fotografías mostradas en la **Figura 21** se puede observar lo siguiente:

- a) En varios cajones, el crecimiento de las plantas no fue óptimo como resultado del ataque de plagas que fueron identificadas y encontradas en el sitio de crecimiento; por ejemplo, las plantas que crecieron en las posiciones:
 - i) C5-L3-c; C10-L4-d; C15-L1-c; estas fueron atacadas por pulgones
 - ii) C25-L2-b; esta fue atacada por caracoles.
- b) En otros cajones, en la misma línea de crecimiento, hubo otras causas no identificadas que evitaron un crecimiento de la planta al parejo de sus vecinas; por ejemplo C25-L2-b, C30-L2-a, C30-L2-b.
- c) Las hojas de las plantas del cajón C25 son más grandes que aquellas que provienen del cajón C30, aunque ambos tienen el mismo producto y plantaciones idénticas: están a cielo abierto, se plantaron las mismas especies, ACELGA y LECHUGA SANGRÍA, y la ACELGA se sembró en las mismas líneas, L2 y L4. Este resultado puede deberse a lo siguiente: El cajón C25 está ubicado en la parte Sur de la plantación (ver Figura 3) y está a escasos 2.0 m de distancia de una barrera de maleza con una altura de 1.5 m sobre el nivel del terreno. La maleza evita que los vientos dominantes en invierno, que provienen del Sur-Oeste, ataquen a las plantas evitando que se estresen; cosa que no sucede con el cajón C30 que sí está expuesto a la inclemencia del viento

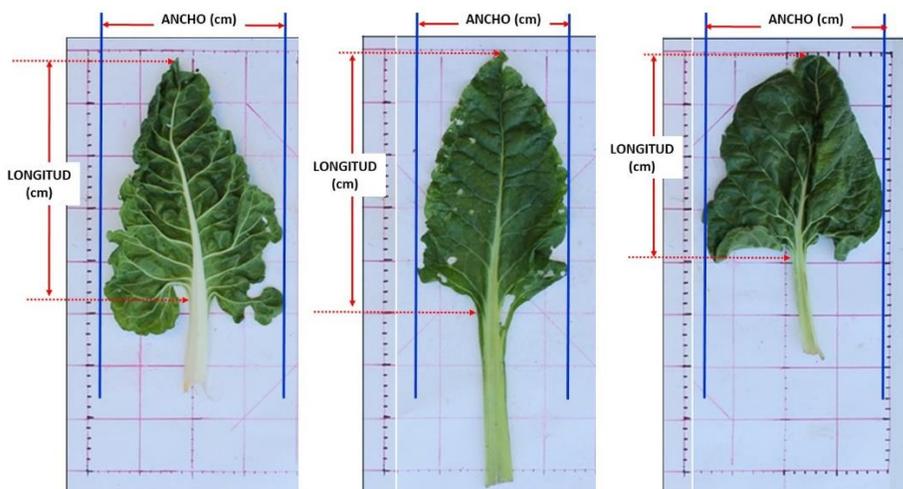


Figura 20: Definición de los indicadores de comparación LONGITUD y ANCHO para las hojas de la especie ACELGA. El concepto de FOLLAJE se establece como el producto de ambos valores

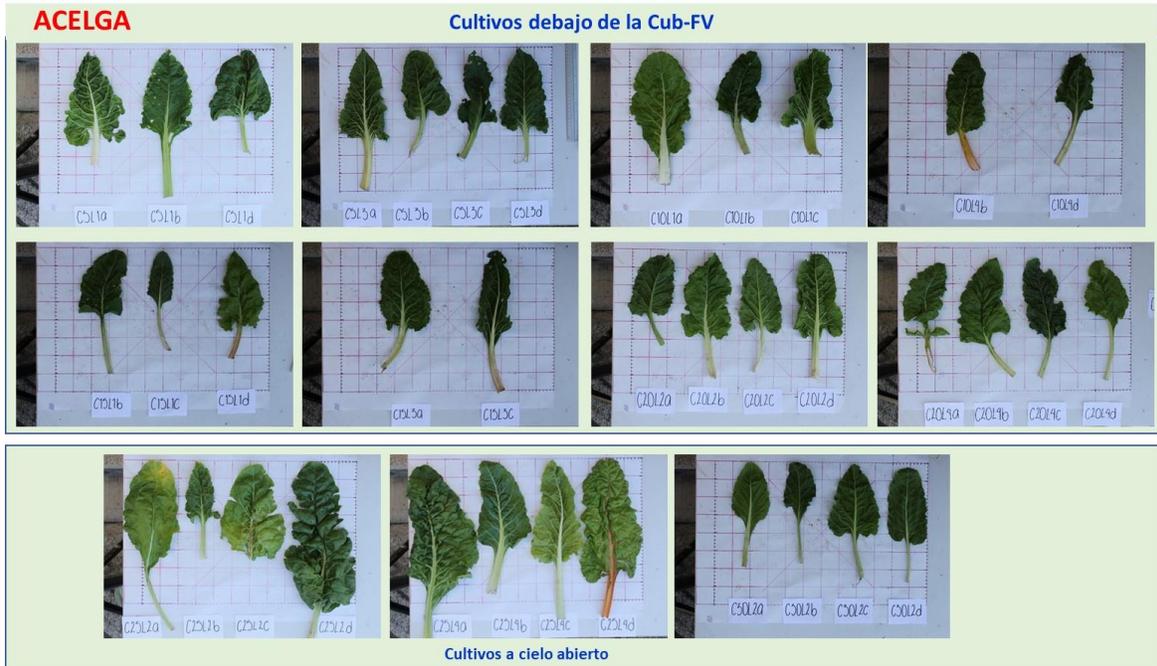


Figura 21: Fotografías de las hojas de acelga cortadas el día 16 de noviembre 2023. Nomenclatura usada: Cajón-Línea-Posición en la línea.

Con base en lo anterior y con la finalidad de analizar los indicadores de crecimiento, los valores medidos de los parámetros de las hojas ubicadas en esas posiciones fueron “eliminados”, quedando solo aquellos que son significativos para dicho proceso. En la **Tabla 4** se muestra los valores de los parámetros indicadores de crecimiento de las HOJAS de ACELGA bajo estudio.

Considerando las mediciones de los indicadores de las hojas de las plantas crecidas bajo la **Cub-FV**, se determina lo siguiente:

- a) **LONGITUD PROMEDIO:** 22.04 cm para las líneas L1, L2; 22.50 cm para L3 y L4.
- b) **ANCHO PROMEDIO:** 14.42 cm para las líneas L1, L2; 12.00 cm para L3 y L4

Por lo tanto, se tiene un crecimiento parejo en los indicadores analizados.

Conclusiones Acelga

- 1) Las plantas de acelga que han crecido debajo de la Cub-FV muestran un crecimiento parejo con base en los valores medidos de los indicadores analizados.
- 2) Comparando los valores promedio de los indicadores analizados para las hojas de las plantas crecidas a cielo abierto con aquellas crecidas debajo la Cub-FV, se tiene que a cielo abierto las hojas son de mayor tamaño.
- 3) Sin considerar al cajón C30 en donde las plantas fueron sujetas a un estrés en su crecimiento debido al viento frío, las plantas que crecieron a cielo abierto en el cajón 25 con valores promedio de 33.67 cm y 30.50 cm son, en promedio, un 42.9% más grande que aquellas crecidas debajo de la Cub-FV (22.4 cm y 22.5 cm).
- 4) La apariencia del color y forma del follaje de las plantas crecidas debajo de la Cub-FV no es similar a aquellas que muestran las plantas crecidas a cielo abierto; éstas últimas se ven maltratadas por el sol y el viento, presentan un color verde más tenue.

Tabla 4: Valores medidos de los indicadores importantes asociados a las hojas de Acelga. Todas las plantas fueron cosechadas el día 22 de noviembre, a los 69 días del sembrado. El sombreado color naranja indica los cultivos a cielo abierto.

CAJÓN	PRODUCTO	LINEA	POSICIÓN	LONGITUD (cm)	ANCHO (cm)	FOLLAJE cm2	PROM LONG (cm)	PROM-PROM LONG (cm)	PROM ANCHO (cm)	PROM-PROM ANCHO(cm)	PROM FOLLAJE (cm2)		
C5	Acelga	L1	a	26	17	442	23.00	22.04	16.00	14.42	368.00		
			b	23	14	322							
			c										
			d	20	17	340							
C10	Acelga	L1	a	29	17	493	23.67						
			b	20	13	260							
			c	22	14	308							
			d										
C15	Acelga	L1	a				20.00						
			b	18	13	234							
			c										
			d	22	13	286							
C20	Acelga	L2	a	17	11	187	21.50						
			b	24	13	312							
			c	21	18	378							
			d	24	14	336							
C25	Acelga	L2	a	30	16	480	33.67	27.08	17.67	15.33	606.33		
			b										
			c	27	17	459							
			d	44	20	880							
C30	Acelga	L2	a				20.50						
			b										
			c	20	14	280							
			d	21	12	252							
CAJÓN	PRODUCTO	LINEA	POSICIÓN	LONGITUD (cm)	ANCHO (cm)	FOLLAJE cm2	PROM LONG (cm)				PROM ANCHO (cm)		PROM FOLLAJE (cm2)
C5	Acelga	L3	a	25	13	325	22.67		22.50		13.00	12.00	294.67
			b	19	13	247							
			c										
			d	24	13	312							
C10	Acelga	L4	a	-	-	-	23.00						
			b	23	11	253							
			c										
			d										
C15	Acelga	L3	a	22	14	308	24.00						
			b	-	-	0							
			c	26	10	260							
			d	-	-	-							
C20	Acelga	L4	a	22	12	264	20.33						
			b	22	13	286							
			c	17	11	187							
			d										
C25	Acelga	L4	a	33	18	594	30.50	25.25	16.25	14.50	499.75		
			b	25	15	375							
			c	29	15	435							
			d	35	17	595							
C30	Acelga	L4	a	17	12	204	20.00						
			b	24	15	360							
			c	22	12	264							
			d	17	12	204							

Especie Brócoli

El brócoli es una especie de lento crecimiento, de 60 a 100 días. En este caso y de acuerdo al monitoreo, dicha especie tuvo tiempos de crecimiento hasta de 129 días.

El brócoli se sembró en los cajones C1, C6, C11, C16, C21 que están debajo de la **Cub-FV**, y en el C26, a cielo abierto. En la **Figura 22** muestra la evidencia fotográfica del crecimiento de dicha especie.



Figura 22: Fotografías de la especie brócoli sembrada en los diferentes cajones para tres días diferentes.

Observando bien el follaje mostrado por las fotografías para los cultivos sembrados en los cajones C1, C6, C11, C16, C21 (debajo de la **Cub-FV**), en los días especificados, su tamaño aparente es el mismo, indicando un crecimiento uniforme; sin embargo, si se compara el follaje del vegetal crecido en el cajón C26, que está a cielo abierto, se ve que éste es de mayor tamaño, es decir, es exuberante que estuvieron debajo de la Cub-FV.

Por otra parte, se determinó visualmente y, posteriormente, con la cuantificación de los indicadores de crecimiento que, a cielo abierto, la especie llega a su “madurez” con un fruto de buen tamaño en menos tiempo del que se cuantifica para las especies que crecen debajo de la Cub-FV (ver La **Figura 23** que muestra la evidencia de la aseveración).

Además del lento crecimiento, hay plantas debajo de la **Cub-FV** que a la misma fecha en que se toman las fotografías presentan diferencias en el tamaño. Este fenómeno puede ser causado por la falta de radiación solar derivado del “juego” de luz y sombras proyectado por la **Cub-FV**.

Dado el lento crecimiento de las plantas y que, en algunas de ellas, a la fecha 5 de enero 2024, se había alcanzado el máximo desarrollo con base en la opinión del coordinador de cultivos, se decidió cosechar dichos productos y darle el tiempo a aquellas para que alcanzaran su madurez. Es así que se propuso lo siguiente la hipótesis siguiente:

Si a las plantas les faltó acumular energía solar derivado del sombreamiento producido por la Cub-FV, con más tiempo de crecimiento, las plantas pueden acumular la energía solar necesaria para alcanzar el tamaño de aquellas crecidas a cielo abierto. Esta hipótesis fue considerada para aplicarse para el caso del brócoli, col verde y coliflor; y de las otras especies que no han llegado a su madurez.



Figura 23: Fotografías mostrando el “tamaño” del producto para los cultivos sembrados en los cajones tanto debajo de la Cub-FV como a cielo abierto. Es evidente que el tamaño del producto en el cajón C26 es más grande que todos los demás productos cultivados en los diferentes cajones.

Así, se propuso realizar las cosechas que fueran necesarias tomándose la decisión por simple inspección visual.

La técnica de cosecha fue la tradicional: Extracción del producto manualmente. Ya habiendo extraído el producto, se procedió a sacudir la raíz para quitarle el exceso de tierra que está adherida a ella. Posterior a eso, se realizó el proceso de medición para cuantificar las características dimensionales de las plantas y el peso de ellas. La planta fue colocada sobre una mesa, se definió dos puntos de corte: el primero para desprender la raíz del tallo, y el otro, el lugar en donde comienza el fruto. Estando definidos dichos puntos y antes del corte, se midió la longitud y anchura de la raíz, la altura de la planta como la distancia del punto en donde empieza la raíz hasta la parte más alta de la planta; el tamaño del follaje definido como la distancia ente los extremos de dos hojas diametralmente opuestos, el diámetro del tallo.

Posteriormente a las mediciones, se pesó toda la planta; se cortó la raíz y el fruto, y se pesaron por separado las tres componentes: raíz, follaje y producto. Los valores medidos para las plantas cosechadas en tres fechas diferentes se muestran en la **Tabla 5**.

Para corroborar la hipótesis establecida, observe los siguientes resultados:

- a) Para el 12 de enero, el producto proveniente del cajón C26 L4(c), a cielo abierto, tiene un peso de 1.72 kg a los 119 días de crecimiento. Ese peso lo alcanzó el producto proveniente del cajón C21 L4 (c), debajo de la Cub-FV, a los 129; es decir necesitó 10 días más de crecimiento para equiparar el peso de referencia.
- b) Para el 5 de enero, el producto proveniente del cajón C26 L4(b), a cielo abierto, tiene un peso de 1.47 kg a los 112 días de crecimiento. El peso de 1.418 kg lo alcanzó el producto proveniente del cajón C1 L2 (c), debajo de la Cub-FV, a los 129; es decir necesitó 17 días más de crecimiento para equiparar el peso de referencia.

Tabla 5: Valores medidos para los indicadores considerados para las plantas de brócoli, diferentes posiciones y días de crecimiento.

FECHA DE COSECHA				viernes, 5 de enero de 2024					DÍAS DE CRECIMIENTO			112
MICRO PARCELA		POSICIÓN		DIMENSIONES FÍSICAS (cm)				PESO (kg)				
CAJON	PRODUCTO	LÍNEA	SITIO	Raíz (L/A)		Altura	Follaje	Tallo	BRUTO	PRODUCTO	FOLLAJE	RAÍZ
21	Brócoli	4	a	20	7	81	110		3.20	1.43	1.76	0.110
26	Brócoli	4	b	18	16	70	90		3.17	1.47	1.57	0.110
6	Brócoli	1	a	16	12	65	82		1.63	0.57	1.00	0.060
11	Brócoli	1	d	30	11	60	69		1.36	0.46	0.84	0.050
FECHA DE COSECHA				viernes, 12 de enero de 2024					DÍAS DE CRECIMIENTO			119
29	Brócoli	4	a	37	9	70	85		3.38	2.00	1.48	0.096
26	Brócoli	4	c	20	17	71	80		3.07	1.72	1.23	0.093
26	Brócoli	2	a	25	12	75	90		4.32	2.06	2.04	0.110
26	Brócoli	2	b	Se dejó	sebrado:	29	35x32		0	0	0	0.000
FECHA DE COSECHA				lunes, 22 de enero de 2024					DÍAS DE CRECIMIENTO			129
21	Brócoli	4	c	13	15	65	95	5.5	2.89	1.72	1.097	0.090
21	Brócoli	4	b	18	14	60	72	4.7	1.95	1.115	0.826	0.060
21	Brócoli	2	a	18	14	74	110	4.9	3.254	1.58	2.63	0.880
21	Brócoli	2	b	18	15	64	90	4.5	2.28	1.063	1.17	0.060
21	Brócoli	2	d	18	17	64	84	4.5	2.52	0.98	0.998	0.066
11	Brócoli	3	a	14	8	60	64	3.1	0.793	0.303	0.478	0.031
11	Brócoli	3	b	17	12	63	79	3.4	1.34	0.502	0.81	0.046
11	Brócoli	3	c	17	11	61	77	4.2	1.643	0.675	0.898	0.051
11	Brócoli	3	d	17	16	62	77	3.6	1.187	0.301	0.9	0.054
11	Brócoli	1	a	15	14	55	58	3.9	1.337	0.667	0.709	0.058
11	Brócoli	1	b	22	14	59	64	4	1.37	0.669	0.702	0.042
11	Brócoli	1	c	21	22	64	67	4.1	1.706	0.88	0.84	0.058
6	Brócoli	1	b	19	13	64	77	4.2	1.954	0.939	1.007	0.074
6	Brócoli	1	c	12	8	50	42	4	0.723	0.283	0.445	0.027
6	Brócoli	1	d	18	17	54	79	4.2	1.668	0.965	0.749	0.051
16	Brócoli	4	a	17	17	66	89	4.6	1.634	0.697	0.946	0.064
16	Brócoli	4	b	17	16	56	77	3.9	1.321	0.392	0.926	0.056
16	Brócoli	4	d	17	12	52	72	3.6	1.197	0.311	0.783	0.047
16	Brócoli	2	a	15	13	71	96	4.9	2.439	1.108	1.296	0.076
16	Brócoli	2	c	16	7	64	91	5.6	2.388	1.191	1.174	0.064
1	Brócoli	4	d	19	14	64	76	4.7	2.114	0.849	1.637	0.076
1	Brócoli	4	a	19	12	68	100	4.6	2.516	1.155	1.404	0.076
1	Brócoli	2	c	17	21	70	93	5.1	2.7	1.418	1.292	0.076
6	Brócoli	3	a	21	19	75	92	4.3	1.992	0.65	1.338	0.070
26	Brócoli	2	c	20	17	86	119	5.4	3.22	1.512	1.714	0.120
26	Brócoli	2	d	17	24	80	122	6.1	3.877	2.127	1.668	0.158
26	Brócoli	4	d	19	24	82	110	5.5	3.282	1.905	1.404	0.110
26	Brócoli	4	a	17	17	59	74	3.5	1.925	0.423	1.475	0.065
FECHA DE COSECHA				lunes, 5 de febrero de 2024					DÍAS DE CRECIMIENTO			143
1	Brócoli	4	b	18	20	28	80	2.7	2.125	0.861	1.193	0.048
6	Brócoli	3	b							1.819		
13	Brócoli	4	d	17	15	36	77	2.9	1.854	0.71	1.073	0.069

Por lo anterior, se pudo inferir que:

El crecimiento de las plantas debajo de una cubierta fotovoltaica se ve aletargado derivado de la menor acumulación de energía solar con respecto a aquel que tienen las plantas que crecen a cielo abierto.

Conclusiones Brócoli

- 1) El crecimiento de las plantas de brócoli debajo de la Cub-FV es uniforme, sin embargo, es más lento que el de las plantas crecidas a cielo abierto; por lo que, para un mismo número de días de crecimiento, el tamaño de las plantas crecidas a cielo abierto es mayor que aquel

de las plantas crecidas debajo de la Cub-FV. Por otra parte, se determinó visualmente y posteriormente, con la cuantificación de los indicadores de crecimiento, que a cielo abierto, la especie llega a su “madurez” con un fruto de mayor tamaño en menos tiempo del que se cuantifica para las especies que crecen debajo de la Cub-FV.

- 2) Observando los valores de la Tabla 5, se concluye que, el producto con mayor peso fue el cosechado con 129 días de crecimiento proveniente del cajón C26, a cielo abierto, con una magnitud de 2.127 kg; mientras que, para los productos crecidos debajo de la Cub-FV fue de 1.72 kg proveniente del cajón C21.
- 3) El crecimiento de las plantas debajo de una cubierta fotovoltaica se ve aletargado derivado de la menor acumulación de energía solar con respecto a aquel que tienen las plantas que crecen a cielo abierto.

Especie Col Verde

La Col Verde es una especie de lento crecimiento, de 50 a 100 días. Con base en datos de la literatura, la planta duplica su peso aproximadamente cada 9 días, requiriendo de 4 a 8 hrs. de sol por día en cielo despejado, una iluminancia de 20,000 lux. Es muy susceptible a plagas como caracol, pulgón e inclusive gusano barrenador. En nuestro caso y de acuerdo al monitoreo decrecimiento, dicha especie tuvo tiempos de crecimiento hasta de 143 días, dependiendo de su ubicación y línea del cajón.

La Col Verde se sembró en los cajones C2, C7, C12, C17, C22 que están debajo de la **Cub-FV**, y en el C27, a cielo abierto. En la **Figura 24** se muestra la evidencia fotográfica del crecimiento de dicha especie.



Figura 24: Fotografías de la especie Col Verde sembrada en los diferentes cajones para tres días diferentes.

Observando bien el follaje mostrado por las fotografías para los cultivos sembrados en los cajones C2, C7, C22 (debajo de la **Cub-FV**), en los días especificados, su tamaño aparente es el mismo, indicando un crecimiento uniforme; excepto por el cajón C12, en donde el follaje se ve más grande. Se puede considerar que estas diferencias radican en la cantidad de radiación solar recibida, por ejemplo: para el caso del cajón C2, se debe recordar que está en el Renglón 1 y se observa que las plantas de la Línea 2, se encuentran en una posición que siempre están recibiendo radiación solar directa, pero que al mismo tiempo es la zona donde entra el viento frío, por lo cual, su efecto podría reducir el crecimiento de las especies; para el caso del cajón C7, éste no recibe radiación directa pero no se ve afectado fuertemente por el viento, teniendo mejores condiciones de crecimiento; en la posición del cajón C17, solo se recibe radiación solar durante las horas de la mañana, después del mediodía solar, deja de recibir radiación directa.

Los puntos que se pueden considerar adecuados son la posición de los cajones C22 y C12. Los productos que están en el cajón C22 tienen mayor crecimiento que los productos de los cajones C2, C7 y C17; sin embargo, en donde se observa mayor crecimiento de follaje es en los productos del cajón C12, lugar que recibe radiación solar directa después del mediodía solar.

Ahora bien, si se compara el follaje del vegetal crecido en el cajón C27, que está a cielo abierto, se ve que éste es de mayor tamaño es decir, es exuberante, en comparación con los que se desarrollaron bajo la Cub-FV.

Por otra parte, se determinó visualmente y, posteriormente, con la cuantificación de los indicadores de crecimiento, que la especie que crece a cielo abierto, está llegando a su “madurez” con un fruto de buen tamaño, que significa menos tiempo del que se cuantifica para las especies que crecen debajo de la Cub-FV. En la **Figura 25** se muestra la evidencia de la aseveración.

Día: 21 de diciembre 2023; 98 días sembrado; 14:52 hr



Figura 25: Fotografías mostrando el “tamaño” del producto para los cultivos sembrados en los cajones tanto debajo de la **Cub-FV** como a cielo abierto. Es evidente que el tamaño del producto en el cajón C26 es más grande que todos los demás productos cultivados en los diferentes cajones.

Lo anterior podría sustentar la teoría que la cantidad de radiación solar recibida (energía) está jugando un rol importante en el crecimiento de los cultivos, en consecuencia, para probar la hipótesis se debe cuantificar dicha energía en cada posición.

Además del lento crecimiento, hay plantas debajo de la **Cub-FV** que a la misma fecha en que se toman las fotografías presentan diferencias en el tamaño. Este fenómeno puede ser causado por la falta de radiación solar derivado del “juego” de luz y sombras proyectado por la **Cub-FV**.

Dado el lento crecimiento de las plantas y que, en algunas de ellas, a la fecha 5 de enero 2024, se había alcanzado el máximo desarrollo con base en la opinión del coordinador de cultivos, se decidió cosechar dichos productos y darle el tiempo a aquellas para que alcanzaran su madurez.

Así, se propuso realizar las cosechas que fueran necesarias tomándose la decisión por simple inspección visual.

La técnica de cosecha fue la tradicional: Extracción del producto manualmente. Ya habiendo extraído el producto, se procedió a sacudir la raíz para quitarle el exceso de tierra que está adherida a ella. Posterior a eso, se realizó el proceso de medición para cuantificar las características dimensionales de las plantas y el peso de ellas. La planta fue colocada sobre una mesa, se definió dos puntos de corte: el primero para desprender la raíz del tallo, y el otro, el lugar en donde comienza el fruto. Estando definidos dichos puntos y antes del corte, se midió la longitud y anchura de la raíz, la altura de la planta como la distancia del punto en donde empieza la raíz hasta la parte más alta de la planta; el tamaño del follaje definido como la distancia ente los extremos de dos hojas diametralmente opuestos, el diámetro del tallo.

Posteriormente a las mediciones, se pesó toda la planta; se cortó la raíz y el fruto, y se pesaron por separado las tres componentes: raíz, follaje y producto. Los valores medidos para las plantas cosechadas en tres fechas diferentes se muestran en la **Tabla 6**.

Tabla 6: Valores medidos para los indicadores considerados para las plantas de Col Verde, diferentes posiciones y días de crecimiento. Los productos en los cajones no considerados en esta tabla no han alcanzado su etapa final de crecimiento

FECHA DE COSECHA				viernes, 5 de enero de 2024					DÍAS DE CRECIMIENTO 112.000			
MICRO PARCELA		POSICIÓN		DIMENSIONES FÍSICAS (cm)					PESO (kg)			
CAJON	PRODUCTO	LÍNEA	SITIO	Raíz		Altura	Follaje	Diámetro	BRUTO	PRODUCTO	FOLLAJE	RAÍZ
27	Col Verde	4	d	15	15	34	90		4.80	2.20	2.20	0.460
2	Col Verde	2	c	26	20	39	80		2.00	0.45	1.42	0.110
FECHA DE COSECHA				viernes, 12 de enero de 2024					DÍAS DE CRECIMIENTO 119			
27	Col Verde	2	d	23	20	33	75		3.92	1.39	2.32	0.090
27	Col Verde	2	c	22	13	40	86		4.40	1.53	1.80	0.129
27	Col Verde	4	c	20	9	34	80		2.64	0.81	1.78	0.063
FECHA DE COSECHA				lunes, 5 de febrero de 2024					DÍAS DE CRECIMIENTO 143			
27	Col Verde	2	a	26	23	21	61	21	5.70	3.24	2.42	0.125
27	Col Verde	2	b							3.47		
27	Col Verde	4	a	20	24	23	70	17	4.33	2.17	2.06	0.082
27	Col Verde	4	b	20	20	25	91	21	5.484	3.084	2.278	0.093
1	Col Verde	2	a	23	29	23	73	17	3.533	2.05	1.493	0.058

Esta Tabla confirma el argumento de crecimiento lento dentro de la **Cub-FV** de la especie analizada que aquel comparado a cielo abierto. La evidencia se muestra con los valores de los indicadores del producto del cajón C2, L2 posición c, que a los 112 días de crecimiento solo alcanzó un peso de 0.45 kg, comparado con el cosechado a cielo abierto del cajón C27, L4 posición d, que alcanzo un peso de 2.2 kg. Los otros productos del cajón C2 no se cosecharon dado que no se había formado el “capullo” característico de la especie.

Sin embargo, cabe mencionar que, hubo una planta de Col Verde que se sembró en el cajón C1 L2 posición a; esta se dejó crecer hasta el 5 de febrero, 143 días de crecimiento, alcanzando un peso de 2.05 kg, magnitud equiparable de aquel para el producto del cajón C27 Línea 4 posición (d) con un peso de 2.2 kg. Lo anterior significa que, para llegar a características físicas similares, el producto crecido debajo de la Cub-FV necesita 31 días más de crecimiento bajo las condiciones climáticas del sitio.

Nótese que los productos cosechados a cielo abierto el día 5 de febrero, a 143 días de crecimiento, son de mayor tamaño, con un peso promedio de 2.99 kg. Una semana antes de la cosecha se le dio seguimiento al diámetro del producto, el cual, a la fecha de la cosecha, no se identificó incremento alguno en su tamaño, lo que nos puede indicar que el producto llegó a su madurez entre 136 a 137 días.

En el caso de los cultivos en surco tradicional, en que la tierra no fue abonada, se observó que, aunque el follaje de la hortaliza era aceptable y de buen tamaño, el fruto era más pequeño en comparación con el del desarrollado en cajón C27 (ver **Figura 26**).

Un análisis más profundo de estos datos está en proceso con el objeto de tener resultados que sean susceptibles de usarse para elaborar un artículo y su futura publicación.

Conclusiones Col Verde

- 1) El crecimiento de las plantas de Col Verde debajo de la Cub-FV es uniforme, sin embargo, es más lento que el de las plantas crecidas a cielo abierto. Esto se replicó cuando se determinó visualmente y, posteriormente, con la cuantificación de los indicadores de crecimiento, que, a cielo abierto, la especie llega a su “madurez” con un fruto de buen tamaño en menos tiempo del que se cuantifica para las especies que crecen debajo de la Cub-FV.
- 2) Observando los valores de la Tabla 6, se concluye que, el producto con mayor peso fue el cosechado con 143 días de crecimiento proveniente del cajón C27, a cielo abierto, con una magnitud de 3.47 kg; mientras que, para los productos crecidos debajo de la Cub-FV fue de 2.05 kg proveniente del cajón C1.
- 3) En el caso de los cultivos en surco tradicional, aunque el follaje de la hortaliza era aceptable y de buen tamaño, no así el fruto en comparación con aquel que creció en el cajón C27 con tierra de cultivo abonada. Se considera que algunas causas probables sea la falta de abono en el surco y el estrés derivado de la plaga, gusano barrenador, que afectó el crecimiento



Cajón C27



Surcos

Figura 26: Ambos productos crecieron a cielo abierto. Se observa claramente la diferencia en el tamaño, asociado quizá a la falta de abono en el surco y estrés derivado de la plaga, gusano barrenador, que afectó el crecimiento.

Especie Coliflor

La **Coliflor** es una especie cuya duración de cultivo está entre los 45 a 60 días, requiere de 4 a 5 horas diarias de luz solar, baja luminosidad. Es muy susceptible a plagas como gusano falso medidor, palomilla, gusano barrenador y varias enfermedades. En nuestro caso y de acuerdo al monitoreo decrecimiento, dicha especie tuvo tiempos de crecimiento hasta de 143 días, dependiendo de la ubicación y línea del cajón donde creció.

La Coliflor se sembró en los cajones C4, C9, C14, C19, C24 que están debajo de la **Cub-FV**, y en el C29, a cielo abierto. En la **Figura 27** se muestra la evidencia fotográfica del crecimiento de dicha especie.

Observando bien el follaje mostrado por las fotografías para los cultivos sembrados en los cajones C4, C9, C14, C19 y C24 (debajo de la **Cub-FV**), en los días especificados, no se presenta un patrón de crecimiento, mientras que a cielo abierto y el cajón C24 muestran plantas de similar tamaño. Si “asociamos” el cajón C4 (sur-oeste) y el C9 (este), y también a los cajones C14 y C19, en posición central, los tamaños del follaje entre ellos son similares; pero siendo más grande en los centrales. Por la posición de los cajones, el C4 y C9 reciben mayor radiación solar que los cajones centrales C14 y C19. Esta observación se puede explicar si se considera que la coliflor requiere menos iluminancia para crecer, por lo que puede pensarse en un posible estrés solar inhibitor del crecimiento.

Sin embargo, la exuberancia del follaje para los productos que crecieron a cielo abierto, hace que se descarte la hipótesis anterior. Por ello, se requiere realizar más estudios en esta dirección para determinar las causas de dicho comportamiento.



Figura 27: Fotografías de la especie *Coliflor* sembrada en los diferentes cajones para tres días diferentes.

Además, resulta evidente por la diferencia en el tamaño de los productos mostrados en la Figura 25 que el crecimiento de las plantas que están debajo de la Cub-FV es más lento que aquel comparado con las que están creciendo a cielo abierto.

Por otra parte, se determinó visualmente y posteriormente con la cuantificación de los indicadores de crecimiento, que la especie que crece a cielo abierto, está llegando a su “madurez” con un fruto de buen tamaño, que significa menos tiempo del que se cuantifica para las especies que crecen debajo de la Cub-FV. En la **Figura 28** se muestra la evidencia de la aseveración.



Figura 28: Fotografías mostrando el “tamaño” del producto para los cultivos sembrados en los cajones tanto debajo de la Cub-FV como a cielo abierto. Es evidente que el tamaño del producto en el cajón C26 es más grande que todos los demás productos cultivados en los diferentes cajones, que carecen de su paella respectiva.

Al igual que el brócoli y la col verde, la coliflor se cosechó en tres etapas: una el 12 de enero, otra el 22 de enero y la última el 5 de febrero. Los valores medidos para las plantas cosechadas en dichas fechas se muestran en la **Tabla 7**.

Los valores de la Tabla confirman el argumento de crecimiento lento dentro de la **Cub-FV** de la especie analizada que aquel comparado a cielo abierto. Además, dichas plantas no tuvieron un crecimiento parejo; como puede observarse en los datos del cajón C4, en donde a los 129 días de crecimiento, la variación del peso del producto cosechado entre la planta más grande y la más pequeña es prácticamente el 50% (48.7%). La misma tendencia se muestra para el cajón C9.

Al comparar el tiempo de crecimiento del primer producto cosechado el 12 de enero 2024, que tuvo un peso de 2.82 kg, que fue de 119 días, proveniente del cajón C29 a cielo abierto, con aquel producto cosechado el 5 de febrero, que tuvo un peso de 2.52 kg, que fue de 143 días, proveniente del cajón C9 debajo de la Cub-FV, ambos productos con similares pesos y tamaños, se determina que este último necesitó de 24 días más de crecimiento para llegar al mismo tamaño.

Un análisis más profundo de estos datos está en proceso con el objeto de tener resultados que sean susceptibles de usarse para elaborar un artículo y su futura publicación.

Tabla 7: Valores medidos para los indicadores considerados para las plantas de Col Verde, diferentes posiciones y días de crecimiento

FECHA DE COSECHA				viernes, 12 de enero de 2024				DÍAS DE CRECIMIENTO 119				
MICRO PARCELA		POSICIÓN		DIMENSIONES FÍSICAS (cm)				PESO (kg)				
CAJON	PRODUCTO	LÍNEA	SITIO	Raíz		Altura	Follaje	Tallo	BRUTO	PRODUCTO	FOLLAJE	RAÍZ
29	Coliflor	2	d	27	25	74	120		6.89	2.82	3.40	0.256
FECHA DE COSECHA				lunes, 22 de enero de 2024				DÍAS DE CRECIMIENTO 129				
29	Coliflor	2	c	28	39	80	140	4.5	7.11	2.73	4.23	0.252
29	Coliflor	2	a	26	28	63	105	50172	2.62	2.38	0.17	
29	Coliflor	4	d	21	26	70	674.5	3.986	2.21	1.22	0.15	
29	Coliflor	4	b	25	35	74	119	4.1	5.07	2.33	3.10	0.228
29	Coliflor	4	c	22	28	71	110	3.8	2.27	1.05	1.24	0.121
24	Coliflor	4	c	20	21	75	126	3	4.01	1.70	2.21	0.120
23	Coliflor	4	d	27	27	66	122	3.8	5.52	3.02	2.53	0.144
4	Coliflor	1	a	24	45	75	145	5	8.26	3.60	4.37	0.260
4	Coliflor	1	d	26	33	80	143	4.2	7.17	2.20	5.27	0.297
4	Coliflor	3	a	24	25	71	126	4.2	6.72	1.79	4.26	0.154
9	Coliflor	2	b	23	21	71	120	3.2	4.03	0.92	3.00	0.136
9	Coliflor	4	c	26	21	74	135	3.4	5.06	1.91	3.09	0.153
1	Coliflor	2	d	24	15	56	113	2.9	3.44	1.68	1.68	0.068
14	Coliflor	2	b	19	20	73	117	2.9	2.87	1.00	1.72	0.093
FECHA DE COSECHA				lunes, 5 de febrero de 2024				DÍAS DE CRECIMIENTO 143				
4	Coliflor	1	b							0.57		
9	Coliflor	2	a	24	39	24	104	3	5.08	2.35	2.60	0.109
9	Coliflor	4	a	25	40	36	147	4.6	8.00	2.52	5.00	0.318
9	Coliflor	4	d	22	27	25	123	3.5	3.56	1.86	1.51	0.080
14	Coliflor	2	c	18	24	27	130	2.6	3.28	1.56	1.78	0.120
14	Coliflor	2	d	13	13	24	114	2.2	2.67	1.30	1.18	0.053
14	Coliflor	4	c	22	21	25	120	3.2	3.09	1.25	1.677	0.124
19	Coliflor	2	a	21	33	25	130	3.2	3.80	1.36	2.19	0.150
19	Coliflor	2	c	27	36	28	124	2.9	3.42	1.48	1.74	0.124
19	Coliflor	4	d	25	26	22	113	3.1	3.10	1.50	1.54	0.073
29	Coliflor	2	b	22	27	23	107	3.1	2.71	1.15	1.44	0.160
SURCO	Coliflor			21	24	18	87	2.2	0.78	0.32	0.38	0.072

Conclusiones coliflor

- 1) El crecimiento de las plantas de Coliflor debajo de la Cub-FV no es uniforme, además de ser más lento que el de las plantas crecidas a cielo abierto; por lo que, para un mismo número de días de crecimiento, el tamaño de las plantas crecidas a cielo abierto es mayor que aquel de las plantas crecidas debajo de la Cub-FV.
- 2) Por otra parte, se determinó visualmente y posteriormente con la cuantificación de los indicadores de crecimiento, que, a cielo abierto, la especie llega a su “madurez” con un fruto de buen tamaño en menos tiempo del que se cuantifica para las especies que crecen debajo de la Cub-FV.

Densidad de Plantación de Cultivos

La densidad de plantación de cultivos para los surcos se determinó con base en información pública. Las especies de gran follaje como el Brócoli, Coliflor, Col verde y Col morada, fueron sembradas en los surcos con base en la Tabla 1; a saber 10, 8, 15 y 15 plantas, respectivamente por metro cuadrado. Aparentemente es una buena densidad ya que se debe recordar que los agricultores siempre buscaran tener la mayor productividad por unidad de área. Sin embargo, conforme fueron creciendo, el follaje de una se encimó en el de su vecina (Ver Figuras 22, 24 y 27). Si se tiene cercanía en el follaje, dentro de la tierra, las raíces también se enredarán, creándose de forma natural una competencia por los nutrientes. Esto debe afectar el crecimiento de los frutos, aseveración que fue corroborada con las observaciones y medidas de los productos cosechados; a saber:

Se observó que, para los cultivos de Col verde, Brócoli y Coliflor, sembrados en el surco tradicional que crecieron en tierra no abonada, se determinó que, aunque el follaje de la hortaliza es aceptable y de buen tamaño, su fruto es de menor tamaño y peso si se comparan con aquellos crecidos en los cajones a cielo abierto, con tierra de cultivo abonada. Una razón de esta diferencia podría ser la densidad de plantas por m² que fue mucho mayor en los surcos que en los cajones (2.6 plantas/m²).

En consecuencia, se propone para futuros experimentos disminuir la densidad de plantación para los cultivos de gran follaje: Col verde, Col morada, Coliflor, Brócoli.

APARIENCIA DE LAS PLANTAS

Dentro de los indicadores que se deben considerar en los vegetales, sobre todo para su comercialización, están los de calidad que abarcan aspectos cualitativos relacionados con la apariencia del cultivo, sabor y olor; es decir, indicadores relacionados con nuestros sentidos, y entre estos destacan el color natural de la especie, su tamaño y salud; y aspectos nutricionales alimenticios. Aquí solo se hará énfasis en aquellos que se puedan identificar con los sentidos del ser humano.

Apariencia.- Las especies que son atacadas por plagas o por enfermedades tienen mala apariencia, son de menor tamaño y en consecuencia muy bajo valor comercial.

Color.- El color característico de la especie es otro indicador importante; en el caso de la coliflor, el cliente buscará un producto de color blanco, sin manchas amarillas (exceso de radiación solar), uniforme y compacto, sin manchas negras indicando presencia de hongos; u otro signo que opaque

el color del producto. Es decir, el consumidor “ve” al producto y si nota que no es la imagen de su concepción, no lo comprará.

Peso.- El cliente buscará siempre dentro de la especie al de mayor tamaño porque se piensa, de acuerdo al dicho popular, “entre más grande, mejor”. Un producto de menor tamaño puede significar una mala producción, falta de fertilizantes, falta de agua, etc., por lo que le baja el valor comercial al producto.

Forma.- El consumidor reconoce a los productos vegetales por su forma; un cambio en esta concepción hará que el cliente no se decida a comprarlo.

En el caso que aquí compete, tanto la Acelga como la Lechuga Italiana, tuvieron un follaje cuyo color es idéntico a las plantas crecidas a cielo abierto, es decir, la Cub-FV, que redujo la intensidad de la radiación solar, no indujo algún cambio significativo en el color de la especie; no así para la lechuga sangría que su follaje perdió su color característico para las especies crecidas debajo de la Cub-FV.

Los productos Brócoli, Col Verde y Coliflor que crecieron debajo de la Cub-FV mostraron mejor apariencia hacia el color característico de la especie que aquellas plantas que crecieron a cielo abierto; se pudo constatar en las plantas crecidas a cielo abierto que su follaje se ve dañado, tendiendo hacia un color amarillento y paellas decoloradas (color del brócoli tendiendo hacia un “verde quemado”; color de la coliflor tendiendo hacia un amarillo tenue y manchado). De la col verde solo se puede decir que, los productos no tienen cambios significativos. En la Figura 29 se muestra fotografías de algunos productos cosechados con defectos o plagas que representan una mala calidad de ellos.



Figura 29: Fotografías con evidencias de productos de mala calidad

Como estos indicadores son cualitativos y que dependen de la apreciación de cada persona, es decir, son subjetivos. Así, se llegó a las siguientes conclusiones:

Conclusiones del Efecto de la Cub-FV sobre la Apariencia del Producto

Con base en las observaciones realizadas, se determina que:

- 1) Para las especies Lechuga Italiana y Acelga, no hay evidencia de cambio en el color del follaje entre las crecidas a cielo abierto como debajo de la Cub-FV
- 2) La Lechuga sangría si se vio afectada en su color característico al crecer debajo de la Cub-FV.

- 3) Los cultivos Col, Brócoli, Coliflor, crecidos debajo de la Cub-FV tienen mejor apariencia que aquellos crecidos a cielo abierto; mejor coloración características y forma.

CONCLUSIONES GENERALES

Las siguientes afirmaciones se generan de las observaciones y cuantificaciones realizadas con respecto a 6 de los 10 productos sembrados. Éstas, solo son aplicables a la geometría de la Cub-FV, a la climatología del lugar, al tipo de tierra de cultivo preparada, al volumen y periodicidad del riego, así como a la forma de mantener y cuidar los cultivos. A continuación, se presentan las conclusiones de este estudio que corresponde a la Prueba de Concepto y Arranque de la Parcela Agrovoltáica, Sostenible y Educativa, como un Laboratorio de Investigación para el crecimiento de cultivos bajo el concepto Agrovoltáico y fortalecimiento del sector agrícola de la región de Tlalpan.

LECHUGA SANGRÍA

- Independientemente de la posición en donde se haya sembrado la especie, el crecimiento de la especie cultivada debajo de la **Cub-FV**, considerando tamaño y peso, NO se ve afectada por la intensidad lumínica o radiación solar global existente en dicha zona.
- La falta de radiación solar incidente en la especie hace que el follaje de dicha especie tienda hacia un color verde con manchas rojizas (no característico de la especie). Así, se identificó un cambio de coloración en las plantas sembradas en las Líneas L2 y L4 del cajón C10, líneas que siempre estuvieron sombreadas.
- Los cultivos realizados a cielo abierto alcanzan su grado de madurez en periodos de tiempo más cortos que aquellas que se cultivan debajo de la Cub-FV. Ya que esta especie se cosechó el 22 de noviembre, 68 días después de ser sembradas, se estima un tiempo de crecimiento con ese número de días para cielo abierto.
- Las plantas que han crecido a cielo abierto son de mayor tamaño y peso que aquellas que han crecido debajo de la Cub-FV. La diferencia fue de hasta 2.2 veces más pesadas.
- Los cultivos crecidos debajo de la Cub-FV crecen más lento que los crecidos a cielo abierto. No se tiene la herramienta para estimar cuantos días serán necesarios para alcanzar los valores promedios de los pesos de las especies crecidas a cielo abierto. Esto se realizará en un futuro próximo.

Lechuga italiana

- Como el peso de los cultivos crecidos en todos los cajones debajo de la Cub-FV no es similar, con una diferencia entre ambos de 92.3 gr, se determina que, con la configuración geométrica de instalación de los módulos FV que forman la **Cub-FV**, el crecimiento de las plantas se ve afectado por la intensidad lumínica o radiación solar global debajo de la **Cub-FV**.
- Las plantas que han crecido a cielo abierto son de mayor tamaño y peso que aquellas que han crecido debajo de la Cub-FV. La diferencia fue de hasta 3.26 veces más pesadas.
- Como resultado de las mediciones realizadas a los parámetros indicadores, se tiene que el crecimiento de los productos debajo de la **Cub-FV** se ve reducido tanto en tamaño del follaje

como en peso, siendo una de las causas, la disminución de la intensidad de la radiación solar global, que para esta especie es baja.

Acelgas

- Considerando las mediciones de los indicadores de las hojas de las plantas crecidas bajo la **Cub-FV**, se determinó un crecimiento parejo en los indicadores analizados.
- Comparando los valores promedio de los indicadores analizados para las hojas de las plantas crecidas a cielo abierto con aquellas crecidas bajo la **Cub-FV**, se tiene que a cielo abierto las hojas son de mayor tamaño, en promedio, un 43% más grande que aquellas crecidas debajo de la Cub-FV

Brócoli

- El crecimiento de las plantas de brócoli debajo de la Cub-FV es uniforme, más lento que el de las plantas crecidas a cielo abierto; por lo que, para un mismo número de días de crecimiento, el tamaño de las plantas crecidas a cielo abierto es mayor que aquel de las plantas crecidas debajo de la Cub-FV.
- Se determinó visualmente y posteriormente con la cuantificación de los indicadores de crecimiento, que, a cielo abierto, la especie llega a su “madurez” con un fruto de buen tamaño en menos tiempo del que se cuantifica para las especies que crecen debajo de la Cub-FV.
- El crecimiento de los productos debajo de la **Cub-FV** es menor que aquellos medidos a cielo abierto; el tamaño se ve disminuido tanto en el follaje como en peso, pudiendo ser una de las causas, una menor acumulación de energía solar.
- El crecimiento de las plantas debajo de una cubierta fotovoltaica se ve aletargado derivado de la menor acumulación de energía solar con respecto a aquel de las plantas que crecen a cielo abierto. Esta aseveración se corroboró: Las plantas pueden alcanzar el tamaño de aquellas crecidas a cielo abierto dejándole más días de crecimiento.

Conclusiones Col Verde

- El crecimiento de las plantas de Col Verde debajo de la Cub-FV es uniforme, más lento que el de las plantas crecidas a cielo abierto; por lo que, para un mismo número de días de crecimiento, el tamaño de las plantas crecidas a cielo abierto es mayor que aquel de las plantas crecidas debajo de la Cub-FV.
- Se determinó visualmente y posteriormente con la cuantificación de los indicadores de crecimiento, que, a cielo abierto, la especie llega a su “madurez” con un fruto de buen tamaño en menos tiempo del que se cuantifica para las especies que crecen debajo de la Cub-FV.
- Observando los valores de la Tabla 6 se apreció que el producto con mayor peso fue el cosechado con 143 días de crecimiento proveniente del cajón C27, a cielo abierto, con una magnitud de 3.47 kg; mientras que, para los productos crecidos debajo de la Cub-FV fue de 2.05 kg proveniente del cajón C1 con 143 días de crecimiento.

Conclusiones coliflor

- El crecimiento de las plantas de Coliflor debajo de la Cub-FV no es uniforme, más lento que el de las plantas crecidas a cielo abierto; por lo que, para un mismo número de días de crecimiento, el tamaño de las plantas crecidas a cielo abierto es mayor que aquel de las plantas crecidas debajo de la Cub-FV.
- Por otra parte, se determinó visualmente y posteriormente con la cuantificación de los indicadores de crecimiento, que, a cielo abierto, la especie llega a su “madurez” con un fruto de buen tamaño en menos tiempo del que se cuantifica para las especies que crecen debajo de la Cub-FV.

NOTA: Las conclusiones anteriores NO son absolutas, simplemente son el resultado de la comparación de los valores de los indicadores en una muestra representativa de las características físicas de las plantas cosechadas

Conclusiones respecto de la densidad de cultivos

- Se debe disminuir la densidad de plantación para los cultivos de gran follaje: Col verde, Col morada, Coliflor, Brócoli; ya que con la densidad a la que fueron sembrados, se produce una competencia entre nutrientes, y al ser menor su concentración, se impacta en la reducción del crecimiento de la especie.
- Para los cultivos de Col verde, Brócoli y Coliflor, sembrados en el surco tradicional que crecieron en tierra no abonada, se determinó que, aunque el follaje de la hortaliza es aceptable y de buen tamaño, su fruto es de menor tamaño y peso en comparación con aquellos crecidos en los cajones a cielo abierto, con tierra de cultivo abonada. La razón de esta diferencia pudo ser la densidad de plantas por m² que fue mucho mayor en los surcos (15) que en los cajones (2.6) por lo que se infiere una competencia de nutrientes entre plantas vecinas. Lo anterior implica menos densidad de plantación.

Conclusiones del Efecto de la Cub-FV sobre los cultivos

- Debajo de la Cub-FV se crea un microclima que favorece a las plantas protegiéndolas de las inclemencias del tiempo;
- Adicionalmente, se disminuyó la cantidad de riego, es decir, la Cub-FV reduce significativamente la evapotranspiración de las plantas teniendo un ahorro, calculado empíricamente, con un valor aproximado del 16.7% en esta temporada de invierno, en la cual, de acuerdo con el Atlas del Tiempo² el valor promedio de la humedad relativa del ambiente en los meses de septiembre a diciembre fue de 67.5%.

² <https://www.weather-atlas.com/es/mexico/topilejo-el-tiempo-en-diciembre>