



POSGRADO INTERINSTITUCIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**METROLOGÍA EN EL
ANÁLISIS DE CUBIERTA BIOCLIMÁTICA® PARA SU
APLICACIÓN EN INVERNADEROS**

PRESENTA

DANIELA GARCÍA LUNA

QUERÉTARO, QRO., ENERO 2014

Contenido

Introducción	4
1. Marco de referencia	6
1.1 Antecedentes	6
1.2 Descripción del problema-u-oportunidad	8
1.3 Justificación	11
1.4 Planteamiento de la investigación	12
1.5 Objetivo	14
1.6 Alcances	14
2. Marco teórico	15
2.1 Agroproductos	15
2.2 Radiación solar	25
2.3 Material plástico para agricultura protegida	27
3. Diseño de la investigación	32
3.1 Investigación descriptiva	33
a) Material plástico	
b) Radiación solar	
c) Agroproducto	
3.2 Diseño del experimento	58
4. Desarrollo e interpretación de resultados	60
4.1 Mediciones de material plástico	60
4.2 Mediciones de radiación solar	71
4.3 Mediciones de agroproducto	78

5. Conclusiones y trabajo futuro	98
6. Bibliografía y referencias	100

Introducción

Metrología, es la ciencia de las mediciones. Se debería agregar que no es sólo ciencia, sino también tecnología y arte, en términos de maestría en la disciplina. Los problemas que involucran metrología pueden ser complejos y las mediciones a realizar pueden no ser obvias. Hay preguntas por contestar: ¿mediciones de qué?, ¿quién las realiza?, ¿cómo son tratados esos valores?, ¿para qué sirven?

El presente trabajo refleja la gestión y la aplicación de la metrología para el análisis del desempeño de un nuevo producto, la Cubierta Bioclimática (CBC), un material plástico para su aplicación en invernaderos.

En este caso, la gestión se interpreta como la actividad de identificar las áreas de análisis que nos permitan conocer el verdadero desempeño del material plástico, determinar las variables de control y monitoreo en cada área y seleccionar las técnicas de medición que analicen tales variables.

En un sondeo preliminar para la formulación del problema, las áreas de análisis identificadas fueron: 1) el proceso de producción de la CBC, 2) el material plástico, 3) la radiación solar y 4) el agroproducto.

Una vez definidas estas áreas de análisis, se identificaron las variables de control y monitoreo se seleccionaron las técnicas de medición que, por experiencia y conocimiento previo, son aplicadas por los expertos técnicos (metrólogos) de diversos laboratorios del Centro Nacional de Metrología (CENAM).

En el capítulo 1 se presentan los elementos prácticos y socio-económicos que definieron el problema. En el capítulo 2 se presenta la investigación bibliográfica realizada sobre estos mismos elementos: agroproducto, radiación solar y material plástico para agricultura protegida.

Las variables de control y monitoreo involucradas en cada área de análisis se describen en los capítulos 3 y 4. Las técnicas y principios de medición, así como los resultados obtenidos también se describen en dichos capítulos.

Es preciso aclarar que las mediciones realizadas en cada una de las áreas de análisis son datos independientes, valores aislados que cuantifican cada variable, pero para que tales datos obtengan significado deberán recibir un tratamiento estadístico, un análisis que muestre la correlación que existe entre ellos y que permita conocer los parámetros que reflejen el mejor comportamiento del material plástico.

El tratamiento estadístico corresponde a un Diseño de Experimentos en el que los factores son: el tipo de material plástico, los niveles de radiación solar y los niveles nutrimentales de los agroproductos. El Diseño de Experimentos se desarrolla en el capítulo 3 del presente trabajo.

¿Para qué sirven las mediciones y su tratamiento? Cuantificar las variables clave y conocer las posibles combinaciones de los parámetros de cada factor permite incidir en el diseño del producto con la finalidad de sintonizar las características y propiedades del material plástico para su aplicación bajo condiciones diversas.

Con lo anterior, será posible el diseño de una CBC adecuada para las condiciones ambientales presentes en las diversas regiones del país y adecuada también para los diversos cultivos y sus requerimientos de desarrollo y crecimiento.

1. Marco de referencia

En este capítulo se describen los antecedentes que motivaron la realización del presente trabajo, las problemáticas y oportunidades identificadas para el desarrollo del mismo, los datos e información que justifican su desarrollo, los objetivos planteados, las hipótesis y la propuesta del trabajo y actividades que hubieron de desarrollarse.

1.1 Antecedentes

En el año 2000, el Ing. Sergio Monroy, investigador originario del estado de Colima, inició la investigación acerca del comportamiento de diversos cultivos bajo el efecto de los diferentes espectros de radiación solar que incidían en ellos.

La manera de evaluar tal comportamiento fue utilizando diferentes materiales plásticos en los invernaderos experimentales y monitoreando los flujos de radiación que cada material transmitía al interior.

La investigación le llevó, con ayuda bibliográfica de investigaciones de otros autores, a determinar que los flujos de radiación para un crecimiento y desarrollo óptimo de los diversos cultivos deberían estar entre los 350 $\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$, 500 $\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$ y 700 $\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$ de Photosynthetic Activity Radiation (PAR).

Para entonces, no existía en México ningún material plástico que cumpliera con tales características, por lo anterior, se dedicó a diseñar una cubierta plástica que más tarde registraría y patentaría con el nombre de Cubierta Bioclimática® (CBC).

El diseño fue materializado con ayuda de la empresa Rafypak, S.A. de C.V., fabricante de Super Sacos de polipropileno, quien con la experiencia de varios años en el mercado determinó el tipo de polímero, los aditivos y el proceso de producción para la fabricación de la CBC.

El investigador mantuvo por varios años la observación y evaluación de la CBC en invernaderos piloto. La evidencia en campo había demostrado el buen desempeño de la CBC, sin embargo, tal evidencia no era suficiente para la comercialización de la misma. En el año 2011, el Ing. Sergio Monroy solicitó el acompañamiento del CENAM para la validación objetiva de la CBC.

El CENAM propuso el proyecto que da origen a esta investigación, ya que se planteó aplicar la metrología no solo en la CBC, sino en toda la cadena de valor: desde el material polimérico, pasando por la fabricación de la CBC, hasta su instalación, operación y evaluación del agroproducto.

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) se vio interesada en apoyar tal proyecto, ya que según sus registros, gran parte del material plástico instalado en invernaderos en México es importado y no cumple con el desempeño que las condiciones ambientales de las diversas regiones del país requieren.

La SAGARPA, a través de la Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce (COFUPRO) y su Programa de Desarrollo de Capacidades, Innovación Tecnológica y Extensionismo Rural en la modalidad de Innovación y Transferencia Tecnológica ha financiado el proyecto denominado *“Validación de la actividad fotosintética, desempeño nutricional y económico de la Cubierta Bioclimática® en especies de frutales, hortalizas y ornamentales de alto impacto socioeconómico”*. El proyecto ha sido realizado en colaboración con el investigador, sin embargo, para fines del presente trabajo y a lo que al CENAM corresponde, el proyecto se ha denominado ***“Metrología en el análisis de la Cubierta Bioclimática® para su aplicación en invernaderos”***.

1.2 Descripción del problema-u-oportunidad

La situación actual de los productores con invernaderos presenta ambas situaciones:

- a) **Problema:** Altos costos de plásticos para importación, a la vez que desconocimiento sobre las propiedades reales del material. La elección de material se hace con base en la creencia en lo que dice su publicidad sin evidencia objetiva para ello.

- b) **Oportunidad:** Posibilidad de validar, e incluso modificar de manera libre y con conocimiento objetivo, las propiedades de un plástico mexicano, la CBC, que redundaría en mejor calidad a un costo correcto para los productores y en desarrollo y apropiación de tecnología para la empresa y el investigador.

Información que nos lleva de la problemática-oportunidad general a la particular es la siguiente:

Según información (The Hunger Project México) sobre hambre y pobreza:

Existen 870 millones de personas en el mundo con insuficiencia alimentaria, 53 millones en Latinoamérica y el Caribe.

El 98% de las personas con subnutrición viven en países en desarrollo.

El 75% de las personas viviendo en pobreza, 1.4 mil millones viven en zonas rurales y dependen de la agricultura para sobrevivir.

En México, el 18% de la población vive en pobreza alimentaria y el 12.5% sufre desnutrición crónica.

Esto muestra la existencia de deficiencia de producción de alimentos en el mundo, ya que la producción por los métodos actuales no es suficiente para cubrir las necesidades.

Agricultura

La agricultura está íntimamente relacionada con la solución de numerosos problemas, entre ellos la pérdida de la biodiversidad, el calentamiento global y la disponibilidad del agua, sin embargo, a pesar del importante aumento de la productividad, la malnutrición y la pobreza siguen asolando gran parte del mundo (Evaluación Internacional de las Ciencias y Tecnologías Agrícolas para el Desarrollo, 2008).

El G-20 ha establecido el incremento en la productividad agrícola como uno de los temas clave para el desarrollo sostenible y la seguridad alimentaria a nivel global (Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, 2012).

La agricultura en México, en 2009, representó cerca del 4% del PIB y, proporciona empleo alrededor de 13% de la fuerza de trabajo, lo que representa unos 3.3 millones de agricultores y 4.6 de trabajadores asalariados (McMahon, Valdés, Cahill, & Jankowska, 2011).

En México existen 40 millones de hectáreas de cultivo tradicional y 12 millones de hectáreas de agricultura protegida, de las cuales, 1.2 millones pertenecen a invernadero (Conde Ortíz, PTQ PEMEX, 2012).

Agricultura protegida

Durante el 5° Congreso Técnico Empresarial, la Asociación Mexicana de Horticultura Protegida, A.C. destacó (2000 Agro, 2012):

En los últimos seis años, la agricultura protegida creció cerca de 250 por ciento, mientras que en los Estados Unidos y Canadá solamente se incrementó en un 17 y 28 por ciento, respectivamente.

La principal ventaja de México es la habilidad de producir durante los meses de invierno a costos más bajos. Las principales desventajas tienen que ver con los altos costos de capital, la reputación sobre inocuidad, las preocupaciones sobre la calidad y la distancia al mercado.

Agricultores de 25 estados de la república, quienes están involucrados en la producción, empaque, distribución y comercialización de hortalizas cultivadas bajo ambientes protegidos, aportan 75% de las exportaciones de México (equivalente a un millón 150 mil toneladas al año).

Agroproductos bajo invernadero

Los cultivos bajo invernadero obtienen condiciones óptimas de temperatura, humedad relativa, iluminación, radiación solar, etc. para obtener el mayor rendimiento y calidad.

Otra ventaja es la reducción de riesgos por eventos meteorológicos como tormentas o cambios excesivos de temperatura, y contaminación.

En México no existe normativa que especifique las condiciones ambientales óptimas de producción de hortalizas, frutales y ornamentales.

Radiación solar en invernadero

La luz es el factor principal para el crecimiento de la planta porque impulsa la fotosíntesis. Las plantas tienen necesidad de iluminación según su naturaleza y estado de desarrollo.

Cuando la luz no es suficiente para un desarrollo normal, las plantas tienden al ahilamiento y presentar clorosis y malformación de hojas.

Cubiertas plásticas para invernadero

El uso de agroplásticos ayuda a reducir la temperatura producida por la luz solar, favorece el crecimiento de las plantas y reduce la deshidratación (Gómez Priego, 2002).

Los parámetros a tener en cuenta a la hora de elegir un material de cubierta de invernadero son: propiedades fotométricas y térmicas.

Los materiales de cobertura, las estructuras que los soportan y el costo de las mismas, no se adaptan de manera universal a las condiciones ambientales y económicas presentes en las diferentes regiones.

En México se consumen aproximadamente 220 mil toneladas de plástico para invernadero: 180 mil toneladas de plástico son producidas en el país, 40 mil toneladas son importadas (Conde Ortiz, 2012).

Los materiales plásticos no cumplen con los estándares de calidad requeridos (Grupo Gam, 2010).

1.3 Justificación

La justificación se analiza en términos de los beneficios que aporta el proyecto y tiene al menos dos vertientes:

- a) Científico-Técnica:** El conjuntar varias disciplinas de la metrología para fortalecer la cadena de valor del producto CBC tiene retos de integración

importantes que, al ser resueltos, aportarán por sí mismos valor al incrementar las capacidades de la metrología para resolver este tipo de problemas.

- b) Económica-Industrial:** La información que se genere del proyecto redundará en beneficios de calidad, precio y autonomía para el diseño y selección del plástico, tanto para el usuario final que instala invernaderos, como para la empresa fabricante y el investigador.

Además:

La validación evidenciada de cubiertas plásticas para invernadero conducirá a decisiones de inversión objetivas respecto a los materiales para la agricultura protegida.

El conocimiento de las características de los plásticos contribuirá a la selección y correcto comportamiento del material.

La producción bajo cubiertas plásticas eficientes se potencializa: aumenta temporadas de cultivo, recorta tiempos de producción, existe mayor rendimiento y calidad en hortalizas, frutales y ornamentales.

La dotación óptima de radiación solar UV-PAR-IR dentro de los invernaderos y hacia el cultivo favorece el crecimiento y las propiedades fisicoquímicas del mismo.

1.4 Planteamiento de la investigación

Originalmente el investigador y los fabricantes de la CBC solicitaron al CENAM únicamente la 'validación' de la CBC en términos de sus propiedades para absorber la luz ultravioleta. Esto implicaría solamente mediciones de transmitancia en laboratorio y tendría cierto valor en sí mismo, sin embargo, el CENAM consideró que lo que

aportaría en total para la toma de decisiones a la comunidad interesada sería muy limitado.

El CENAM comunicó esto a los interesados y asignó el proyecto a la tesista que suscribe para su realización.

El planteamiento del proyecto se realizó en sesiones de trabajo con representantes de los agricultores que cultivan en agricultura protegida, el investigador, la empresa fabricante y la COFUPRO, quien aportó el patrocinio.

Fruto de la propuesta y en acuerdo con el grupo se definieron las siguientes etapas:

- a) Análisis de composición y geometría de los plásticos, tanto de la CBC, como de sus competidores: plástico nacional y plástico internacional.
- b) Análisis de las propiedades ópticas de transmitancia, reflectancia y absorbancia de dichos plásticos.
- c) Instalación en campo de 6 módulos de invernadero con cada una de las CBCs (3), con plástico nacional (1), con plástico internacional (1) y a cielo abierto (1).
- d) Medición de los diferentes espectros de radiación solar (Total, PAR y UV) en el interior de los módulos para verificación o correlación de la transmitancia observada en (b).
- e) Siembra de 6 diferentes tipos de cultivo (hortalizas, frutales y ornamentales) con surcos idénticos en cada módulo.
- f) Monitoreo en el crecimiento de los cultivos y medición de sus características nutricionales de acuerdo a lo más relevante de cada uno (ej. chile: capsaiscina, tomate: licopeno, etc.).
- g) Análisis de correlación entre las diferentes mediciones.

1.5 Objetivo

El objetivo puede verse en varias etapas o niveles, y éste es:

Conocer la relación entre las características de composición y fabricación del plástico, y sus propiedades de transmitancia a la radiación UV, por un lado, y la relación entre los niveles de radiación UV y las características de crecimiento y composición del agroproducto, por el otro.

El logro de este objetivo permitirá al fabricante de la CBC y al investigador tomar decisiones objetivas sobre la composición del material y características de fabricación para 'sintonizar' el plástico conforme a las condiciones ambientales a las que estará expuesto, y conforme al tipo de cultivo que sembrarán en el invernadero.

1.6 Alcances

Los alcances del proyecto son los análisis metrologicos especializados en cada una de las etapas, preponderantemente: a) material plástico, b) radiación solar y c) agroproducto, así como el análisis cruzado entre ellas para detectar sus relaciones.

Los análisis metrologicos especializados en cada una de estas disciplinas fueron realizados por el personal de los respectivos laboratorios del CENAM y uno del INIFAP, con la participación de la tesista.

La participación de la tesista fue total en la medición de la radiación solar en campo, así como en todos los aspectos transversales desde la planeación, decisión de los análisis a realizar, recopilación de datos, preguntas de análisis, hasta la integración de resultados y análisis cruzado.

2. Marco teórico

En el presente capítulo se hace referencia al estado del arte de los temas clave en el presente trabajo: 1) Agroproductos, 2) Radiación solar y 3) Material plástico.

2.1 Agroproductos

Aspectos generales de las plantas y del medio natural (Díaz, Espí, Fontecha, Jiménez, López, & Salmerón, 2001):

Las plantas, del grupo de los llamados productores primarios, sustentan al resto de los seres vivos produciendo el oxígeno necesario para su respiración y constituyendo una fuente de alimento.

Las plantas presentan tres tipos de órganos vegetativos: raíces, tallos y hojas, además de los órganos generativos. Actividades de las hojas:

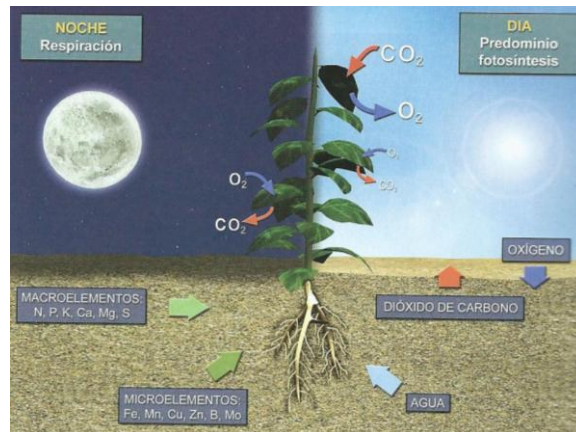
Las hojas cumplen actividades tan importantes como la de asimilar el carbono contenido en la atmósfera, pues la planta sólo puede obtener mediante la fotosíntesis aquel elemento.

La fotosíntesis consiste en la producción de materia orgánica partiendo del carbono contenido en el dióxido de carbono del aire con influencia de la luz y de la clorofila.

La respiración consiste en la absorción de oxígeno con desprendimiento de dióxido de carbono, lo contrario de lo que ocurre en la fotosíntesis.

En la transpiración, el agua que llega a las hojas se utiliza de diversas maneras: una parte es retenida para el crecimiento de las partes jóvenes de la planta, otra es destruida en el proceso fotosintético, otra es transformada en el proceso de respiración y otra cantidad es retenida.

Funciones de los órganos de las plantas.



Fuente: (Díaz, Espí, Fontecha, Jiménez, López, & Salmerón, 2001).

De los agroproductos susceptibles de cultivo con agricultura protegida los más comunes son:

- a) Hortalizas
- b) Frutales

Hortalizas

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) define hortaliza como: “Las plantas anuales cultivadas en campos y huertos al aire libre y en invernaderos, utilizadas casi exclusivamente como alimento” (Secretaría de Educación Pública, 2012).

Bases de la alimentación humana (Rodríguez Rivera, 2008): Las hortalizas pueden clasificarse atendiendo a criterios como la parte de la planta a la que pertenecen o que se consume:

Clasificación de las hortalizas.

Parte de la fruta	Hortaliza
Fruto	Tomate, pimiento, berenjena, guindilla.
Bulbo	Ajo, cebolla, puerro, cebolleta, chalota.
Col	Berza, brécol, col de Bruselas, coliflor, lombarda, repollo.
Hoja y tallo	Acelga, berro, borraja, endibia, escarola, grelos, lechuga.
Inflorescencia	Alcachofa.
Pepónide	Pepino, calabaza, calabacín.
Raíz	Zanahoria, rábano, nabo, remolacha.
Tallo	Apio, esparrago.

Propiedades de las hortalizas

Las hortalizas tienen una composición variable dependiendo de numerosos factores, entre los que cabe destacar la variedad, el origen, el cultivo y el estado de maduración:

Contenido en nutrientes de hortalizas (%).

	Agua	Compuestos nitrogenados	Carbohidratos	Lípidos	Fibra
Hortalizas	80-95	1,8 - 3,5	2,3-7,9	0,1-0,6	1-5

Fuente: (Rodríguez Rivera, 2008).

Características generales de las hortalizas (Secretaría de Educación Pública, 2012):

Las hortalizas también aportan vitamina C, provitamina A, ácido fólico, β -caroteno y minerales como potasio y hierro.

Las hortalizas también proporcionan fibra y pequeñas cantidades de proteína, lípidos y algunos carbohidratos como glucosa, fructosa, sacarosa y almidón.

Vitaminas: sobresalen las vitaminas hidrosolubles, especialmente la vitamina c o ácido ascórbico, y la vitamina E, que son antioxidantes de gran importancia para la salud.

Frutales

Bases de la alimentación humana (Rodríguez Rivera, 2008):

De acuerdo a la definición más genérica de fruta, ésta puede ser el fruto, la infrutescencia, la semilla o las partes carnosas de órganos florales aptas para el consumo humano y con un adecuado grado de madurez.

Los criterios de clasificación de las frutas incluyen su naturaleza, su estado, su fisiología y su categoría comercial.

Así, de acuerdo a su naturaleza existen tres tipos de frutas: las oleaginosas, las secas y las carnosas. Las frutas carnosas son las más acuosas y se pueden clasificar, a su vez, en función del tipo de fruto del que proceden:

Clasificación botánica de los frutos carnosos.

Denominación	Fruta
Bayas	Uvas, arándanos.
Hesperidium	Naranja, limón, pomelo.
Pepónidas	Melón, sandía.
Drupas	Cerezas, melocotón, albarique, ciruela.
Rosáceas	Manzanas, peras.
Agregadas	Fresas, frambuesas, grosella.
Múltiples	Piña, higo.

Propiedades de los frutales

Las frutas, igual que las hortalizas, tienen una composición variable:

Contenido en nutrientes de frutas (%).

	Agua	Compuestos nitrogenados	Carbohidratos	Lípidos	Fibra
Frutas	70-90	0,6 - 1,2	6-20	03,0,6	2-7

Fuente: (Rodríguez Rivera, 2008).

Composición y calidad nutritiva (Gil Hernández, 2010):

Azúcares: los principales azúcares son la sacarosa, la glucosa y la fructosa. Otros azúcares, como la xilosa, la arabinosa o la manosa se encuentran en menor proporción.

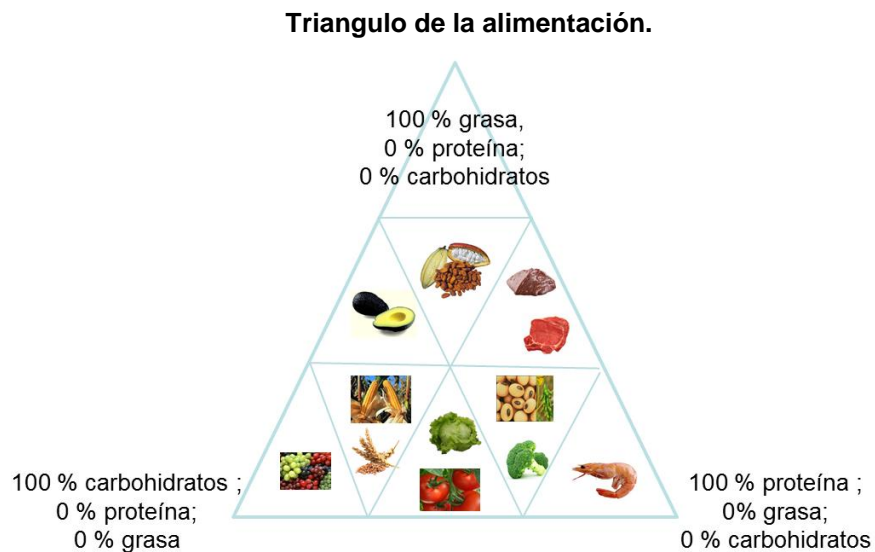
Almidón: suele encontrarse sólo en la fruta madura, disminuyendo su concentración a lo largo de la maduración.

Vitaminas: las frutas aportan una proporción importante de vitaminas C y A a la dieta. Contiene otras vitaminas, como las vitaminas E o las del grupo B.

Componentes nutrimentales

Los componentes nutrimentales que en mayor cantidad contiene un agroproducto son:

- a) Proteínas
- b) Carbohidratos
- c) Lípidos



Fuente: Metrología de Materiales, CENAM 2012.

Adicionalmente a estos componentes la mayoría de agroproductos contienen otras sustancias nutrimentales como:

- d) Vitaminas
- e) Minerales
- f) Nutraceuticos

Proteínas

Principios generales de los alimentos (Bello Gutiérrez, 2000):

Las proteínas forman parte de la composición química de casi todos los alimentos.

Las tres funciones esenciales de la materia viva (nutrición, crecimiento y reproducción) están vinculadas a las moléculas proteicas y a las estructuras que las integran: péptidos y aminoácidos.

Son polímeros de elevado peso molecular, formados por cadenas, más o menos largas, de α -aminoácidos unidos a través de enlaces peptídicos (-CONH-) en las más variadas secuencias y proporciones.

En los productos naturales se pueden reconocer hasta 22 aminoácidos, que en diversas proporciones toman parte de las estructuras proteicas.

La distinta proporción en que intervienen en el complejo molecular, así como las variaciones en su secuencia dentro de la cadena polipéptida, dan lugar a que las proteínas existentes en los alimentos manifiesten una gran variedad en sus propiedades.

Carbohidratos

Después del agua, los carbohidratos son los componentes más abundantes de los alimentos. Se trata de compuestos orgánicos que desempeñan un papel relevante en los sistemas biológicos y tienen gran importancia en la alimentación humana por su carácter de nutriente energético.

Por tener su origen en los procesos de fotosíntesis suelen abundar en alimentos de origen vegetal: cereales, leguminosas, tubérculos, verduras y frutas.

Se denominan carbohidratos a los compuestos orgánicos que en sus estructuras químicas sólo contienen C, H y O, y responden a la fórmula básica $C_x(H_2O)_y$.

Los principales carbohidratos alimenticios con cierto interés bromatológico son:

- a) Monosacáridos: pentosas (arabinosa, xilosa, ribosa) y hexosas (glucosa, fructosa, galactosa).
- b) Disacáridos: sacarosa, lactosa, maltosa, lactulosa.
- c) Oligosacáridos: oligofruktanos, rafinosa, estaquiosa, palatinosa.
- d) Polisacáridos: de reserva (almidones, glucógeno), estructurales (celulosa, sustancias pépticas) y gomas.

Lípidos

Lípido es todo componente orgánico que incorpora en su estructura algún ácido graso. La mayoría de ellos son ésteres formados entre los ácidos grasos y un alcohol.

Su presencia incide significativamente sobre la calidad de los alimentos. No solo contribuyen a las propiedades sensoriales de sabor, olor y flavor, sino que aportan suavidad a la textura, facilitan la masticabilidad y proporcionan una sensación de saciedad cuando son consumidos.

Los ácidos grasos que intervienen en las estructuras químicas de los lípidos alimentarios son ácidos carboxílicos alifáticos.

La mayoría de los lípidos alimenticios proceden de los tejidos de reserva donde predominan los conocidos con el nombre de tricilgliceroles o triglicéridos, alcanzando a veces el 99% de los lípidos totales.

Vitaminas

Las vitaminas son un grupo de sustancias orgánicas de variada estructura, sin valor energético propio, necesarias en pequeñas cantidades que el organismo humano es incapaz de sintetizar (Entrala Bueno, 1995).

Vitaminas esenciales para la salud (Challem & Brown, 2010): Las vitaminas ponen en marcha y estimulan prácticamente todas las actividades bioquímicas del organismo necesarias para la vida y la salud.

Las 13 vitaminas esenciales se dividen en dos grupos:

- a) Vitaminas hidrosolubles: entre ellas se encuentran la vitamina C y la familia del complejo vitamínico B.
- b) Vitaminas liposolubles: son las vitaminas A, D, E y K.

Minerales

Minerales, suplementos nutricionales (Roberts, O'Brien, & Subak-Sharpe, 2003):

Los minerales son compuestos procedentes del suelo y no sustancias animales ni vegetales. Se han identificado quince minerales como esenciales para mantener la salud humana.

Algunos, como el calcio y el fósforo, están presentes en el organismo en cantidades relativamente elevadas y tienen múltiples funciones.

Otros, como el cobalto y el yodo, son apenas detectables en el organismo y parecen tener papeles individuales muy especializados.

Los minerales son responsables de las siguientes funciones: dan a los huesos su fuerza y rigidez, controlan los equilibrios hidroelectrolíticos y bioquímicos del organismo y activan sistemas enzimáticos.

Los minerales desempeñan funciones biológicas importantes de carácter plástico o estructural y regulador (activadores o inhibidores enzimáticos) (Hernández Rodríguez & Sastre Gallego, 1999).

El contenido mineral de los alimentos depende en gran parte de factores ambientales como son la naturaleza del suelo o del agua utilizada para la producción de los alimentos.

Nutracéuticos

Nutrición para la salud (Williams, 2002):

Los alimentos vegetales son muy ricos en vitaminas antioxidantes: vitamina C, β -caroteno, vitamina E y selenio.

Las plantas contienen numerosos compuestos fitoquímicos como los índoles, las isoflavonas y los polifenoles, que aunque no tienen valor nutricional alguno, intervienen en diversos procesos metabólicos del organismo.

Tomados en conjunto, los nutrientes antioxidantes y fitoquímicos se conocen con el nombre de nutraceuticos.

Varios nutraceuticos pueden inactiva enzimas, bloquear la información de compuestos cancerígenos, prevenir la formación de radicales libres, alterar la estructura e integridad de las membranas celulares o suprimir la síntesis de ADN y proteínas.

Se define como alimentos nutraceuticos o funcionales a "los alimentos que proveen beneficio para la salud más allá de la nutrición básica" (IICA-GTZ, 2000).

2.2 Radiación solar

La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias: luz ultravioleta, visible e infrarroja.

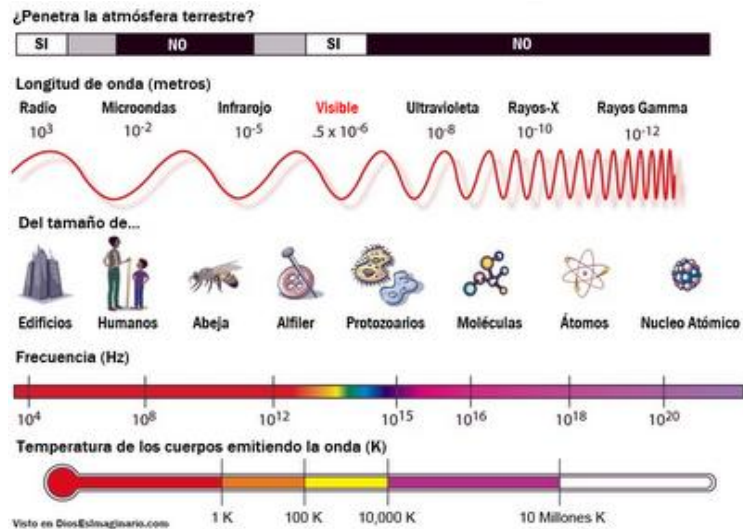
La radiación directa es aquella que llega directamente del Sol.

La radiación difusa es la radiación que atraviesa la atmósfera y es reflejada por las nubes o absorbida por éstas.

La radiación reflejada es aquella reflejada por la superficie terrestre, depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo.

La radiación global es la total, la suma de las tres radiaciones.

El espectro electromagnético.



Fuente: (Astrofísica y Física, 2012).

Ultravioleta

Características del espectro UV-Visible-IR (Hecht, 2008):

La región ultravioleta está en las frecuencias de aproximadamente 8×10^{14} Hz hasta unos 3×10^{16} Hz. Fue descubierta por Johann Wilhem Ritter.

Un átomo emite un fotón UV cuando un electrón realiza un salto largo hacia debajo de un estado muy excitado.

También pueden generarse rayos UV más energéticos cuando los electrones más internos y estrechamente entrelazados de un átomo se excitan.

Los seres humanos no perciben los rayos UV por que la córnea los absorbe, especialmente a las longitudes de onda más cortas.

Luz visible

La luz corresponde a la radiación electromagnética en la banda estrecha de frecuencias desde $3,84 \times 10^{14}$ Hz hasta aproximadamente $7,69 \times 10^{14}$ Hz.

Se produce generalmente por una nueva disposición de los electrones exteriores en los átomos y moléculas.

Newton fue el primero en reconocer que la luz blanca es realmente una mezcla de todos los colores del espectro visible.

El color no es una propiedad de la luz en sí misma sino una manifestación del sistema de percepción electroquímico.

Infrarrojo

La región infrarroja que se extiende aproximadamente desde 3×10^{11} Hz hasta alrededor de 4×10^{14} Hz, fue detectada inicialmente por el renombrado Sir William Herschel en 1800.

El IR se subdivide en cuatro regiones: el IR cercano (780 – 3000 nm), el IR intermedio (3000 – 6000 nm), e IR lejano (6000 – 15000 nm) y el IR extremo (15000 nm – 1 mm).

El IR se emite en gran cantidad en un espectro continuo por cuerpos calientes. Aproximadamente, la mitad de la energía electromagnética del Sol es IR.

La energía radiante infrarroja se mide generalmente con un dispositivo que responde al calor generado en la absorción del infrarrojo por una superficie ennegrecida.

2.3 Material plástico

Los filmes plásticos en la producción agrícola (Díaz, Espí, Fontecha, Jiménez, López, & Salmerón, 2001):

Los polímeros son macromoléculas cuyo elevado tamaño se ha conseguido por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros. El polímero se consigue uniendo estas pequeñas moléculas una a continuación de otra, a modo de eslabones de una cadena. El número de eslabones o unidades de monómero se denomina grado de polimerización y el proceso por el que se realiza esta acción, polimerización.

Si el polímero está formado por una única especie o monómero se denomina homopolímero, mientras que si en el polímero se unen más de un tipo de monómero se llama copolímero.

Si las macromoléculas están formadas por diferentes monómeros, los copolímeros formados presentan propiedades finales que dependen del tipo de unidades que lo forman y de cómo están distribuidas estas unidades a lo largo de la cadena.

Agroplásticos en México (Gómez Priego, 2002):

La palabra plástico proviene del griego y significa “dar forma”, que en una explicación científica se traduciría como “moléculas de cadena larga”; muchos plásticos tienen moléculas que albergan decenas de miles de átomos, lo que les confiere propiedades peculiares.

En 1933, los químicos ingleses E.W. Fawcett y R.O. Gibson probaron el efecto que podían tener 2,200 kg de peso sobre 1 cm² empleando gas etileno, el etileno se polimerizó, dando lugar a una película resistente y fina: polietileno.

Durante las décadas de los años treinta y cuarenta, se descubrieron y fabricaron otros plásticos en gran escala, como el poliestireno, el cloruro de polivinilo, los poliésteres, las resinas epóxicas y el teflón; fue hasta los cincuenta y sesenta cuando se popularizó la venta de plástico en el mundo.

El primer uso del plástico en la agricultura en México fue la sustitución de los botes de aceite por bolsitas de polietileno negro.

Polímeros para agricultura protegida

Los polímeros (Díaz, Espí, Fontecha, Jiménez, López, & Salmerón, 2001):

Una de las características comunes de todos los filmes plásticos es su bajo peso respecto a materiales tradicionales como el vidrio.

La densidad de los plásticos es una ventaja porque facilita el manejo, la colocación, el transporte, que las estructuras sean menos rígidas, etc.

Los materiales plásticos utilizados en agricultura contienen, generalmente, una serie de aditivos como antioxidantes, absorbentes de la luz UV, cargas, etc., que les hacen adecuarse a la aplicación hacia la que van destinados.

Polietileno de baja densidad (LDPE)

El etileno, procedente del craqueo de la nafta, es el monómero de los polietilenos. Su composición química es $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$. La unidad repetitiva del polietileno tiene la siguiente estructura:

El polietileno puede tener una estructura lineal o ramificada. La versión ramificada se conoce como polietileno de baja densidad si las ramificaciones son largas, irregulares y distribuidas de forma desordenada.

El método más usual para la obtención de este tipo de polietileno es la polimerización a alta presión. Se trata de un tipo de polimerización radical con iniciadores generadores de radicales libres, tales como, peróxido de benzoílo o 2,2'-azobisisobutironitrilo (AIBN).

La densidad junto con el peso molecular y su distribución constituyen los dos parámetros más importantes que definen el tipo de polietileno.

Las propiedades que hacen del LDPE uno de los polímeros de mayor consumo son su excelente aislamiento eléctrico, buena procesabilidad, flexibilidad, buenas propiedades mecánicas, resistencia química y razonable transparencia.

Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE)

El LLDPE se fabrica por copolimerización de etileno con 1-buteno, 1-hexeno, 1-octeno u otras α -olefinas utilizando catalizadores Ziegler-Natta o metallocenos.

La estructura resultante es lineal pero con ramificaciones cortas y uniformes que dificultan la cristalización.

Las condiciones de polimerización son menores energéticas y las propiedades del polímero se pueden controlar variando el tipo y cantidad del monómero copolimerizado con el etileno.

Sus propiedades mecánicas son superiores a las del LDPE, sin embargo, su procesabilidad es peor. Estas características hacen que su aplicación en agricultura se centre en filmes para acolchado o en mezclas y coextrusiones con LDPE y EVA como mejorador de propiedades mecánicas.

Acetato de vinilo (EVA)

Los copolímeros EVA utilizados en filmes agrícolas suelen presentar contenidos de acetato de vinilo (AV) entre 4% y 18% en peso y son copolímeros al azar.

La presencia de grupos polares en la estructura química del material provoca un efecto de plastificación, lo que ocasiona un aumento de la distancia entre las cadenas macromoleculares y una disminución de la cristalinidad.

En filmes agrícolas, en EVA se utiliza en aquellos casos en los que se busca flexibilidad, resistencia al desgarro, mucha transmisión de luz y baja turbidez. Tiene como limitación la pérdida de propiedades mecánicas a altas temperaturas.

Policloruro de vinilo (PVC)

Es un material con la suficiente irregularidad en la estructura para que la cristalinidad sea bastante baja.

El PVC plastificado es destinado a aplicaciones flexibles como filmes, láminas, etc.

La flexibilidad a distintas temperaturas depende del tipo y la cantidad de plastificante. Si lleva un alto contenido de plastificante, a temperaturas ordinarias, puede presentar problemas de fluencia y mayor sensibilidad al envejecimiento.

Con el fin de conseguir una mayor duración y mejores propiedades mecánicas, se utilizan dos filmes superpuestos y soldados entre sí que contienen en su interior una malla de poliamida o poliéster lineal.

3. Diseño de la Investigación

En este capítulo se describe cómo se planearon las mediciones y experimentos para el desarrollo de la investigación.

Originalmente se consideró que el proceso de integración de las diferentes partes del proyecto serían integradas mediante un Diseño de Experimentos. No obstante, en el análisis, se encontró que varias relaciones eran determinísticas y no probabilísticas, que otros factores estaban necesariamente bloqueados y que algunos datos fueron inaccesibles. Esto fue resultado de un proceso de planeación por encima del Diseño de Experimentos. Una vez definido esto, más adelante se aborda la parte de análisis estadístico.

Estrategia de la investigación

La estrategia de la investigación estableció como principio de acción el identificar la cadena de valor que va desde el diseño del producto plástico hasta los resultados en el agroproducto para “desmenuzarla” tanto como fuese posible.

Una vez identificados y desarticulados los componentes, el objetivo fue realizar las mediciones objetivas posibles en cada etapa, variable o factor, para obtener el mayor número de elementos para la toma de decisiones, control y optimización del producto (CBC) y de su resultado final (agroproducto).

Conforme a ello se definieron las siguientes fases, etapas o componentes que se supuso (hipótesis) podría ser desarticuladas:

- a) **Material plástico:** composición y geometría de la CBC y sus competidores. Mediciones asociadas a los materiales, composición y parámetros de fabricación.

- b) Radiación solar:** instalación de módulos en campo para evaluación de su desempeño en radiación.
Medición de radiación Total, PAR y UV.
- c) Agroproducto:** evaluación de las características deseadas en el resultado.
Medición de las características de calidad y nutricionales más críticas: nutraceuticos, antioxidantes, etc.

3.1 Investigación descriptiva

a) Material plástico

El investigador y la empresa producen la CBC en tres presentaciones. Todas ellas bloquean el paso de la radiación Ultravioleta (UV).

La diferencia entre las 3 es la cantidad total de radiación que permite cada una. Conforme a su especificación, ésta es:

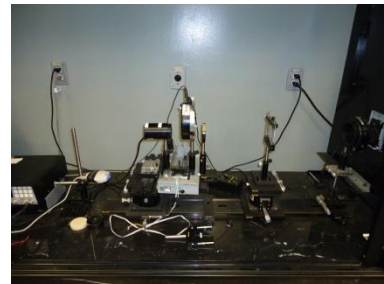
1. CBC 1. $700\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$
2. CBC 2. $500\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$
3. CBC 3. $350\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$



CBCs



Laboratorio de materiales



Laboratorio de óptica

Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología

El estudio ha incluido 3 casos más para evaluar el desempeño de las CBCs frente a otras condiciones:

4. CPN: Cubierta de Plástico Nacional. Se eligió como muestra una de las marcas producidas en México y más usadas en el país. La marca no es revelada por confidencialidad.
5. CPI: Cubierta de Plástico Internacional. Se eligió como muestra una de las marcas extranjeras, de origen israelí, más usada en el país.
6. CSC: Cielo Sin Cubierta. Finalmente, se consideró conveniente tomar como referencia base las condiciones a cielo abierto.

En el caso de las 3 CBCs, para constatar sus valores de transmitancia, sería suficiente una medición cuidadosa en laboratorio. Lo mismo sería para encontrar los valores en el caso de los 2 plásticos nacional e internacional.

No obstante, por el principio establecido inicialmente en la estrategia, se ha deseado correlacionar los valores de transmitancia con su causa: la composición del material, y su consecuencia: la radiación real en campo.

Objetivo

Conocer la composición, material base y aditivos de cada una de las cubiertas.

Encontrar evidencia objetiva sobre la superioridad o no de la CBC sobre otros plásticos nacionales e internacionales usados para invernadero.

Realizar diferentes análisis metrológicos en los laboratorios de Materiales Cerámicos y Óptica y Radiometría del CENAM.

Preguntas de investigación

- ¿La CBC refleja, absorbe o transmite radiación UV?
- ¿Cuáles son los componentes de la CBC que reflejan, absorben o transmiten la radiación UV y la PAR?
- ¿Cuál es la relación componente-radiación?

Técnicas de medición

- i. Análisis cualitativo por espectroscopía con infrarrojo y transformada de Fourier (FT-IR).
- ii. Análisis semicuantitativo por espectrometría de rayos X (FRX).
- iii. Microanálisis por espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDEX).
- iv. Análisis por espectrometría UV-Vis-IRC.

i. Análisis FT-IR

Debido a la posibilidad de transiciones entre estados de energía vibracionales y rotacionales de las moléculas, una molécula puede absorber la energía de fotones sí (Font):

- a) Se produce un cambio en el momento dipolar de la molécula durante un movimiento vibracional o rotacional.
- b) La frecuencia asociada con el fotón coincide con la frecuencia natural del movimiento vibracional.

Los movimientos vibracionales de los componentes de un enlace químico tienen frecuencias naturales dentro del rango de frecuencias del infrarrojo.

Prácticamente todos los compuestos moleculares pueden manifestar una serie de bandas de absorción. Cada banda corresponde con un movimiento de vibración de un enlace en concreto dentro de la molécula.

Principio de la medición

Para medir una muestra, un rayo de luz infrarroja atraviesa la muestra. Cuando la frecuencia de excitación de un enlace (o grupo de enlaces) coinciden con algunas de las frecuencias incluidas en las ondas componentes del rayo, se produce absorción.

La cantidad de energía absorbida en cada longitud de onda es registrada, esto se logra usando una transformada de Fourier para medir todas las longitudes de onda a la vez. A partir de esto se traza un espectro de transmitancia.

El espectro de transmitancia muestra a cuáles longitudes de onda la muestra absorbe el IR y permite una interpretación de qué enlaces están presentes.

Equipo e instrumentación

Espectrofotómetro infrarrojo de transformada de Fourier equipado con una fuente láser de He/Ne, beamsplitter de CsI, detector DTGS-CsI y software OMNIC para detección en un rango espectral de 400 a 4000 cm^{-1} .

Incertidumbre de $\pm 5 \text{ cm}^{-1}$.

Adaptación del accesorio Smart Orbit (ATR) para medidas de reflectancia. Dispone de soportes con cristal de diamante y cristal de ZnSe.

Método de medición

Transmitancia y reflectancia:

- a) Transmitancia: Seleccionar muestras de 8.5 cm x 5 cm de cada una de las cinco muestras. No necesitan preparación previa.
- b) Reflectancia: Separar la parte central de la transversal de las muestras y analizar ambas caras. El tamaño de la muestra es el mismo que por el método de transmitancia.

ii. Análisis FRX

Los electrones se encuentran en el átomo distribuidos en los distintos niveles y subniveles de energía. Los electrones se sitúan en estos niveles ocupando primero aquellos de menor energía. A este estado de mínima energía se le denomina estado fundamental.

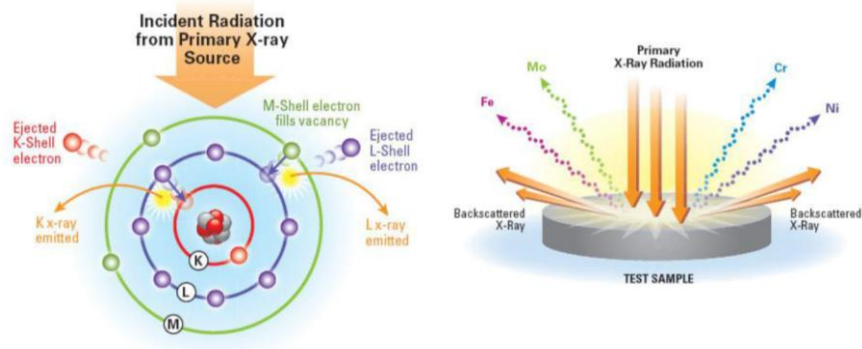
El átomo, al ser “bombardeado” con un haz de electrones o con fotones de rayos X, una pequeña parte de la energía se invierte en la producción del espectro característico de rayos X de los elementos que componen la muestra bombardeada.

El proceso de producción de este espectro característico es:

- a) Excitación: el choque de un electrón o fotón X incidente con un electrón de las capas internas del átomo, produce la expulsión de dicho electrón quedando el átomo en estado de excitado.
- b) Emisión: el átomo en estado excitado tiende a volver a su estado fundamental, para lo cual se producen saltos de electrones a niveles más externos. En este proceso hay un desprendimiento de energía en forma de radiación electromagnética correspondiente a la región de rayos X.

La cuantificación o análisis cuantitativo de diferentes elementos o compuestos se puede llevar a cabo utilizando métodos espectroscópicos de absorción y emisión.

Esquema de un átomo bombardeado por rayos X.



Fuente: (Roquet, 2012).

Principio de la medición

La radiación incide sobre la muestra excitando los átomos presentes en la misma, que emiten a su vez radiación característica denominada fluorescencia de rayos X.

La radiación incide sobre un cristal analizador (con espaciado interatómico) que la difracta en un ángulo (θ) dependiente de su longitud de onda (λ) por la ley de Bragg ($\text{sen } \theta = n \lambda / 2d$).

Un detector que puede moverse sobre un determinado rango de dicho ángulo mide el valor de la intensidad de radiación en un ángulo determinado y para una longitud de onda específica.

Se obtiene una función lineal de la concentración del elemento en la muestra que produce tal radiación de fluorescencia.

Equipo e instrumentación

Espectrómetro de fluorescencia de rayos X equipado con un tubo de ánodo de rodio y usando atmósfera de vacío (evita la absorción de radiación del aire) para la determinación química elemental desde el sodio hasta el uranio en cantidades de 50 mg/kg.

Incertidumbre relativa del 10%.

Método de medición

Comparación de la relación de intensidades netas:

Seleccionar las muestras (5) de cada tipo de plástico y subdividir las en 4 para colocar en el portamuestras.

Los resultados se analizan con la relación $\frac{C_A}{C_P} = \frac{I_A}{I_P}$:

Donde la C representa la concentración del analito de interés y la I la intensidad en kilo conteos por segundo (kcps).

Los subíndices A son el analito y la P el patrón.

La concentración del analito de interés en el patrón es conocida, sin embargo, se debe conocer la intensidad del patrón y de la muestra, esto se obtiene con la medición.

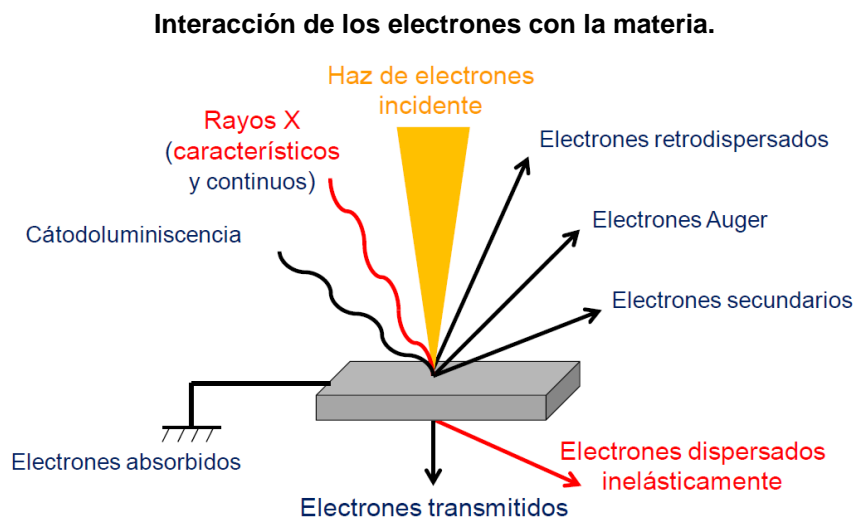
Al despejar C_A conocemos la intensidad de la muestra.

iii. Microanálisis EDEX

Cuando un electrón acelerado interacciona con un átomo tiene que atravesar, en primer lugar, la capa externa donde los electrones del átomo están más débilmente enlazados. Posteriormente, llega a la capa interna donde los electrones están unidos al núcleo con mayor fuerza. Finalmente, puede llegar hasta el núcleo atómico.

Cuanto más profundamente penetre el electrón en el átomo, mayor será la cantidad de energía que pierda. El átomo, emite energía (rayos X) para volver a su estado fundamental.

Cuando el electrón con una determinada velocidad interactúa con alguno de los electrones locales de los orbitales internos lo expulsa del átomo y este electrón expulsado se denomina electrón secundario y es fundamental en el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB).



Fuente: (Servicios Técnicos de Investigación, 2012).

Principio de la medición

El fundamento MEB (Renau-Piqueras & Faura) radica en que los electrones emitidos por un cátodo de tungsteno pasan a través de una columna en la que se ha hecho un vacío de alrededor de 10^{-7} Torr.

En la columna, el haz inicial es concentrado por una serie de lentes electromagnéticas desde unos 25-50 nm hasta 10 nm, es decir, su diámetro va disminuyendo hasta hacerse casi puntual.

Al mismo tiempo, la intensidad de corriente se disminuye desde unos 10^{-14} A hasta unos 10^{-10} - 10^{-12} . Esta disminución de intensidad implica una menor cantidad de electrones primarios.

El haz electrónico puntual es desplazado sobre toda la superficie de la muestra con continuas idas y venidas. En la interacción del haz con la superficie se producen electrones secundarios que darán origen a varios fotones.

Los electrones secundarios, finalmente, previo paso por un videoamplificador, son dirigidos hacia un tubo semejante a un osciloscopio de rayos catódicos sobre cuya pantalla se producirá la imagen.

Equipo e instrumentación

Espectrómetro de dispersión de rayos X acoplado a la microsonda analítica JXA-8200. El alcance es desde 0.1% hasta 99.9% fracción masa.

Incertidumbre relativa del 8%.

Método de medición

Microanálisis químico elemental:

Preparar y cortar longitudinalmente la muestra.

Recubrir del dispositivo Ion Sputtering con una fina capa de oro para lograr una superficie lo más plana posible.

Asegurar las coordenadas X=45 mm, Y=1 mm y Z=11 mm de la platina.

Provocar vacío en la precámara y conectarla a la cámara principal del sistema de microanálisis.

Ventear la precámara y obtener imágenes.

iv. Análisis UV-Vis-IRC

La teoría ondulatoria de la luz propone la idea de que un haz de luz es un flujo de cuantos de energía llamados fotones; la luz de una cierta longitud de onda está asociada con los fotones, cada uno de los cuales posee una cantidad definida de energía.

La interacción de la radiación electromagnética con los electrones de diversos materiales exhibe las propiedades de estos últimos. Las propiedades ópticas (Habib, 2012) son interpretables en términos de la estructura electrónica y como esta es influenciada por los enlaces y la estructura atómica.

Cuando las energías del fotón y del electrón son razonablemente similares, hablamos de resonancia, y esperamos absorción.

Cuando existe interacción entre los fotones y las partículas absorbentes la potencia del haz es atenuada, la transmitancia de la solución es entonces la fracción de la radiación incidente transmitida por la solución.

Principio de la medición

La muestra recibe un haz de luz colimado. A medida que el haz atraviesa la muestra, una parte de esa luz es absorbida por la misma y otra fracción atraviesa el cuerpo, a eso se le conoce como transmitancia óptica.

La luz transmitida queda atrapada en la esfera de integración, que al estar cubierta de polietetrafluoroetileno (PTFE) permite recolectar toda la luz transmitida (regular y difusa).

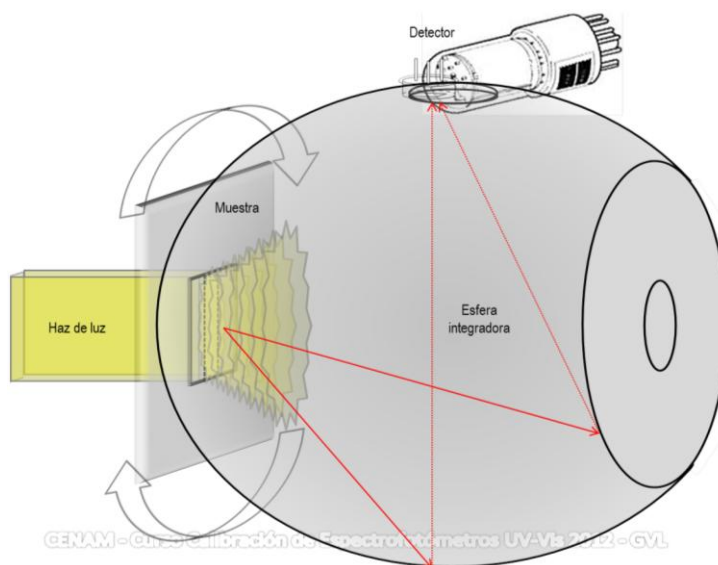
La luz transmitida que choca en las paredes de la esfera integradora es dirigida al detector de UV-Vis-IRC, compuesto por un tubo fotomultiplicador (PMT) y este a su vez por dínodos recubiertos con sulfuro de plomo (PbS_2).

La radiación que llega al fotocátodo provoca la emisión de electrones primarios que son acelerados hasta el primer dínodo.

Al incidir en el primer dínodo, cada fotoelectrón origina la emisión de varios electrones adicionales; éstos a su vez son acelerados hasta el dínodo siguiente y así sucesivamente.

Al final, se produce una corriente que es recogida en el ánodo, se amplifica electrónicamente y se mide.

Espectrómetro de barrido con esfera de integración.



Fuente: Óptica y Radiometría, Curso CENAM, 2012.

Equipo e instrumentación

Espectrofotómetro UV-Vis-IRC equipado con una esfera de integración y que es trazable al patrón nacional de transmitancia, absorbancia y reflectancia espectrales.

Con alcance, de la escala fotométrica en transmitancia de 0.000% hasta 100.000% y, de la escala longitud de onda de 200 nm a 2600 nm.

Incertidumbre para la escala de longitud de onda de 0.07%.

Método de medición

Transmitancia difusa espectral:

Seleccionar las muestras (5) e identificar ambas superficies como lado A y lado B. El tamaño de cada muestra es de 5.5 cm x 5.5 cm.

Colocar la muestra en frente de la abertura de entrada de la esfera de integración con dimensión de recolección de radiación de 17 mm x 19 mm.

Hacer incidir el haz de luz colimado a cada una de las superficies de la muestra en la parte central. La dimensión del haz incidente es de 5 mm x 19 mm.

La muestra es girada a un ángulo de 90° para detectar superficies y texturas que determinan la transmitancia.

Obtener espectro de la medición: transmitancia y haz (difusión).

b) Radiación solar

Conforme a los casos a analizar, que son 3 tipos de CBC, 2 tipos de plástico testigo y la referencia a cielo abierto, para la medición de radiación solar en campo se decidió instalar 6 módulos experimentales. Los principales aspectos a decidir fueron:

- Localización
- Tamaño
- Orientación
- Sistemas de medición

Para definirlos se trabajó con el propio investigador, el Ing. Sergio Monroy, y se consultó a los expertos en producción de agroproductos bajo invernadero, el I.A. Francisco Guerra y el I.A. Arturo Polo.



Preparación de terreno



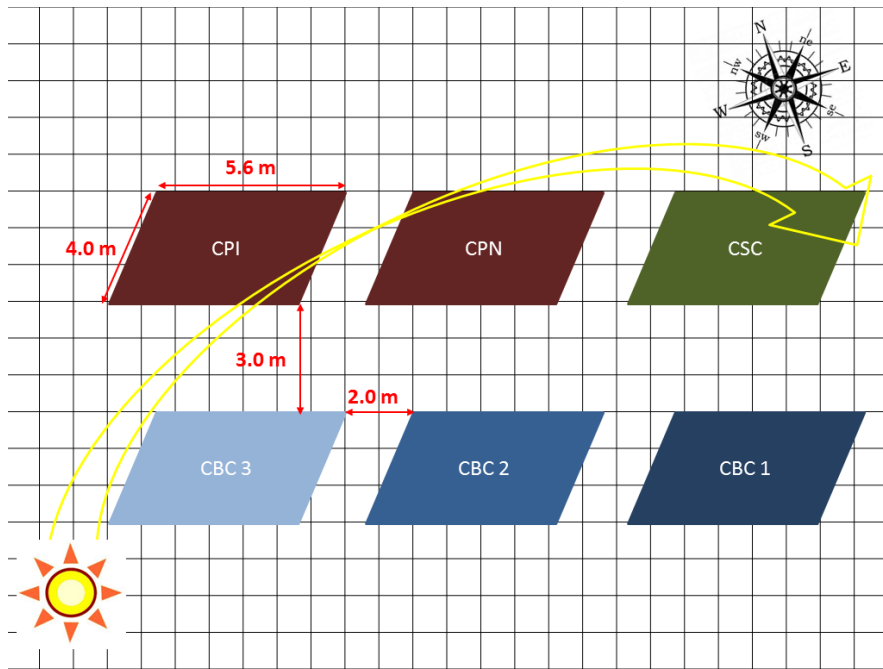
Instalación de módulos



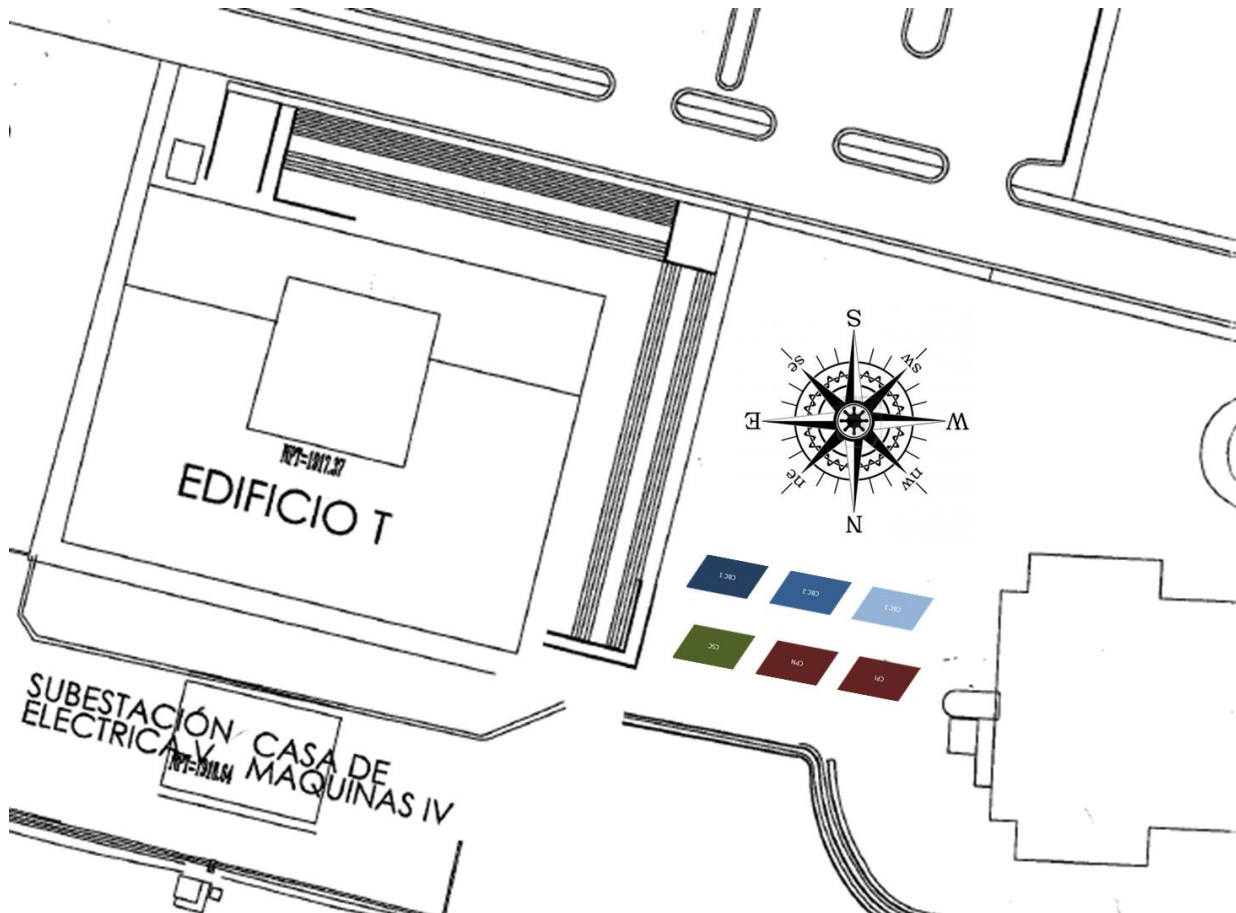
Módulos experimentales

Localización	El Marqués, Querétaro. Centro Nacional de Metrología	
Orientación	18° de inclinación al Este	
Diseño	Invernadero tipo diente de sierra	
Tamaño	Longitud: 5.6 m Ancho: 4.0 m	Altura: 4.5 m Altura al zenit: 5.0 m
Distribución	3 invernaderos x 2 invernaderos (ver figura). Espacio entre módulos laterales: 2.0 m Espacio entre módulos al frente: 3.0 m	

Croquis de la orientación de módulos experimentales



Croquis de localización de módulos experimentales



Simultáneamente se realizó un estudio para elegir los sistemas de medición a instalar en los módulos. Para ello se contó con las recomendaciones del Ing. Sergio Monroy y con la asesoría del personal de la Dirección de Óptica y Radiometría del CENAM.



Interfaz de comunicación para la estación meteorológica



Instalación del sensor radiométrico



Instalación del sistema Estación-Sensor

Objetivo

Conocer los niveles de radiación Total, PAR y UV al interior de cada uno de los módulos de prueba y a cielo abierto.

Seleccionar e instalar los equipos de medición radiométrica dentro de cada módulo de prueba con cubierta plástica y comparar resultados con la radiación solar a cielo abierto.

Los sistemas de medición elegidos se describen en esta misma sección con el título de Técnicas de Medición.

Preguntas de investigación

- ¿Qué grado de uniformidad de radiación Total, PAR y UV se tiene entre las diferentes zonas y alturas al interior de cada módulo?
- ¿Cuál es la reflectancia, absorbanza y transmitancia de la CBC en campo?
- ¿Los cultivos son afectados nutrimental y físicamente por la radiación UV?

Técnicas de medición

- i. Medición piranométrica (espectro total)
- ii. Medición de radiación PAR (de 400 nm a 700 nm)
- iii. Medición de radiación UV (hasta 400 nm)

i. Piranométrica

Un piranómetro es un instrumento para medir la radiación solar a una superficie plana. Es un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar en un cuerpo de 180°.

Componentes del piranómetro:

1. La termopila, formada por sectores blancos y negros (no selectivo a diferentes longitudes de onda), es capaz de absorber la radiación solar en un rango entre los 300 nm y los 50000 nm y tiene una respuesta casi perfecta al coseno del ángulo de incidencia.
2. La cúpula de cristal, limita la respuesta al rango de 300 nm a 2800 nm preservando un campo de visión de 180°.

La detección de la radiación electromagnética y de las partículas cargadas es posible gracias a su interacción con la materia, ya que ionizan los átomos a su paso produciendo portadores de cargas libres que pueden ser medidos directamente.

El elemento sensor fotosensible es el silicio, material semiconductor adecuado para el desarrollo de transductores integrados.

Principio de la medición

La energía radiante es absorbida por la superficie ennegrecida de la termopila, creando así una diferencia de temperatura en el centro.

La diferencia de temperatura entre los extremos fríos y calientes producen una diferencia de potencial que a su vez produce una señal (Renom, 2011).

La señal de salida se registra en el data logger.

Equipo e instrumentación

Sensor piranométrico de silicio. Mide radiación entre 300 nm y 1100 nm y su alcance va desde 0 W/m² hasta 1500 W/m².

Incertidumbre de $\pm 5\%$.

Método de medición

Adaptar interfaz de salida de tensión a corriente para evitar ruido en la señal.

Colocar sensor a intemperie a una altura aproximada de 6 m y, en cada uno de los módulos a una altura aproximada de 1.60 m (altura del cultivo).

Conectar sensor en la estación meteorológica WatchDog y obtener lecturas a través del software Spec9Pro.

ii. PAR y UV

Un medidor de radiación PAR o radiación UV se compone de un detector fotónico (fotodiodo) sensible a la radiación electromagnética.

El fotodiodo es un dispositivo que conduce una cantidad de corriente eléctrica proporcional a la cantidad de luz que lo incide.

Si un fotodiodo se polariza inversamente, los electrones y los huecos generados por los fotones se desplazan hacia la zona N y la P respectivamente (Mandado Pérez, Murillo Roldan, & Quintáns Graña).

Se cierra el circuito externo y se produce una corriente denominada fotocorriente. La energía necesaria para que los electrones traspasen la banda prohibida depende del tipo de semiconductor utilizado.

Lo que define las propiedades de sensibilidad al espectro de un fotodiodo es el material semiconductor que se emplea en la construcción.

Principio de la medición

Los fotones de la radiación interactúan con el material semiconductor, en este caso silicio. Dicha interacción produce un incremento de los portadores de carga y se modifica la resistencia del dispositivo.

El fotodiodo al recibir la señal luminosa que transforma en una corriente eléctrica, la señal es dirigida a un módulo detector del circuito, pasa al módulo amplificador y se emite una señal eléctrica. La señal se almacena en el data logger.

Equipo e instrumentación

PAR

Sensor de luz PAR. Mide radiación entre 400 nm y 700 nm y su alcance va desde 0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ hasta 2500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$.

Incluye corrección de coseno y niveles predefinidos.

Incertidumbre de $\pm 5\%$.

UV

Sensor de radiación UV. Mide radiación entre 250 nm y 400 nm y su alcance va desde $0 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ hasta $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$.

Incertidumbre de $\pm 5\%$.

Método de medición

Adaptar interfaz de salida de tensión a corriente para evitar ruido en la señal.

Colocar sensor a intemperie a una altura aproximada de 6 m y, en cada uno de los módulos a una altura aproximada de 1.60 m (altura del cultivo).

Conectar sensor en la estación meteorológica WatchDog y obtener lecturas a través del software Spec9Pro.

c) Agroproducto

Un paso importante para completar las mediciones en la cadena de valor fue la selección de los agroproductos a probar en los módulos experimentales. La selección se hizo también con las recomendaciones y apoyo del Ing. Sergio Monroy y el I.A. Arturo Polo, quien finalmente suministró las especies a probar. Éstas fueron:

1. Tomate heirloom
2. Chile jalapeño
3. Pimiento morrón rojo
4. Pimiento morrón naranja
5. Melón
6. Clavel



Cultivos en módulo experimental



Entutoreo de cultivos



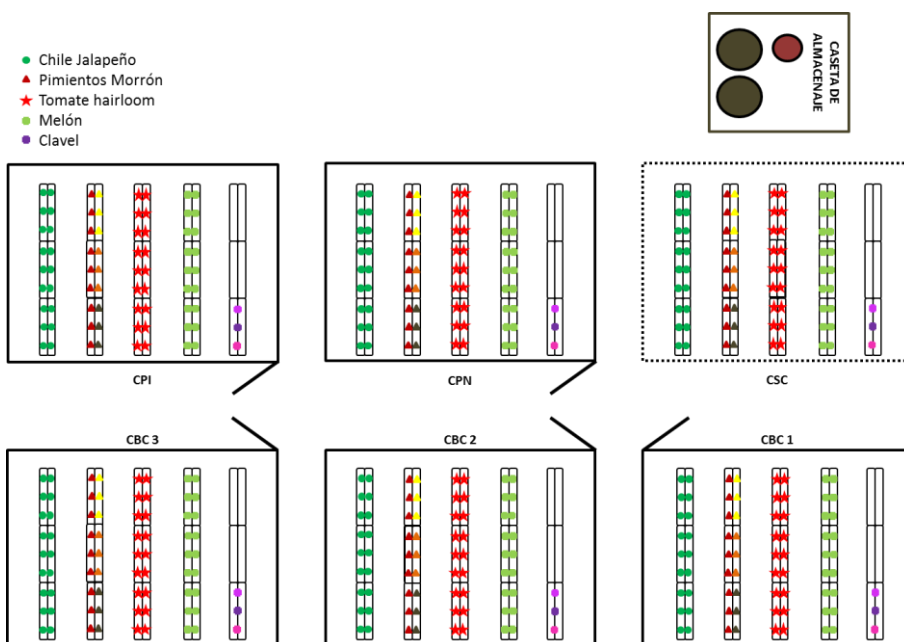
Tomate liofilizado para análisis

En un diseño experimental, tanto las especies como el riego y nutrientes serían factores diferentes a considerar. Con el fin de optimizar el espacio y tiempo para las pruebas se decidió “bloquear” los factores de riego y nutrientes y aplicar lo mismo para todas las especies.

Finalmente, en cada módulo se sembrarían 1 surco con 10 plantas de cada una de las especies, y todos los módulos serían iguales en su configuración.

El siguiente croquis presenta la configuración de cada módulo experimental y la distribución de cada cultivo:

Distribución de cultivos en los módulos experimentales



Se cuantificaron las propiedades fisicoquímicas, bromatológicas y nutraceuticas de muestras de cultivos de los Campus Querétaro y Colima mediante un análisis a cargo del INIFAP.

Muestras Querétaro: Se analizaron muestras de chile jalapeño bajo Cubierta Bioclimática, cubiertas testigo e intemperie.

Muestras Colima: Se analizaron muestras de tomate bajo Cubierta Bioclimática y cubierta testigo y muestras de naranja solo bajo Cubierta Bioclimática.

Objetivo

Cuantificar y comparar las propiedades nutraceuticas de diversos agroproductos de los diferentes módulos de prueba.

Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son los valores nutrimentales en cada agroproducto-módulo?
- ¿Cuáles son las diferencias en productividad, peso y color de los cultivos?
- ¿Cuál es la CBC óptima por cultivo y por región?

Técnicas de medición

Análisis por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)

Análisis HPLC

La cromatografía es una técnica de separación basada en el principio de retención selectiva, que permite separar los distintos componentes de una mezcla facilitando su identificación y cuantificación.

El proceso de separación se produce a causa de las interacciones entre los componentes de la mezcla con la fase móvil y la fase estacionaria.; lo cual causa la distribución de los componentes de la mezcla entre las dos fases.

Las interacciones mencionadas pueden tener su origen en dos fenómenos:

- a) La adsorción; que es un fenómeno de interacción superficial por la cual los átomos, iones o moléculas son retenidas en la superficie de un material.
- b) La absorción; es un fenómeno de retención que incluye la penetración de una especie química en todo el volumen del material por lo cual se la considera como un fenómeno másico y no superficial.

Principio de la medición

El fenómeno de separación de la muestra ocurre cuando esta pasa por la columna cromatográfica a través de la fase estacionaria (cilindro con pequeñas partículas) mediante el bombeo de líquido (fase móvil) a alta presión a través de la columna.

La muestra es introducida en pequeñas cantidades y sus componentes se retrasan diferencialmente dependiendo de las interacciones químicas o físicas con la fase estacionaria a medida que adelantan por la columna.

La cromatografía de fase reversa se basa en el principio de las interacciones hidrofóbicas que resultan de las fuerzas de repulsión entre un disolvente relativamente polar, un compuesto relativamente apolar y una fase estacionaria apolar.

Equipo e instrumentación

Análisis químico: Sistema HPLC con detector de longitud de onda variable (190 nm a 600 nm).

pH: Potenciómetro.

Grados Brix: Refractómetro manual.

Método de medición

HPLC de fase reversa.

Los métodos de medición para la determinación de las propiedades de los diversos agroproductos se mencionan en los bloques siguientes:

1. Ácidos orgánicos: tomate, chile jalapeño y naranja.
2. Ácidos fenólicos: chile jalapeño.
3. Capsaicinoides: chile jalapeño.
4. Vitamina C: jitomate, chile jalapeño y naranja.

Ácidos orgánicos

Se utilizó el equipo de cromatografía líquida de alta resolución con un detector de diodos para determinar el perfil de ácidos orgánicos.

El sistema de elución fue ácido sulfúrico con un flujo de 0.5 ml/min.

Los ácidos orgánicos fueron separados con una columna de fase reversa X87H y se detectaron a 210 nm.

Los resultados fueron comparados con la base de datos de estándares comerciales puros y para determinar el componente.

Ácidos fenólico

Se utilizó el equipo HPLC-DAD con una columna de fase reversa Zorbax Octadecilsilano.

Se corrió un gradiente de elución usando el solvente A (ácido fórmico acuoso al 1%), y el solvente B (ácido fórmico en metanol al 1%).

El gradiente del solvente fue programado de 10% a 100% (B en A) por 30 minutos con una velocidad de flujo de 1.0 ml/min. La identificación y cuantificación de los picos se realizó basándose en el tiempo de retención y el espacio derivado del DAD comparando con los estándares comerciales puros.

Vitamina C

A la muestra de jugo se le añadió 10 ml de ácido cítrico 0.1 M y ácido etilenediamintetra acético al 0.05%.

La muestra se agitó, se centrifugó y se recuperó el sobrenadante después de desechar los primeros 5 ml.

A una alícuota de 3 ml del sobrenadante se le añadió 1 ml de 1,2-fenilenediamina preparado en metanol/agua.

La muestra fue incubada a temperatura ambiente y protegida de la luz.

Para la identificación y cuantificación se utilizó el HPLC-DAD con una columna de fase reversa Zorbax Octadecilsilano y a través del software ChemStation Plus se pudo leer el contenido.

Capsaicinoides

Para llevar a cabo la extracción de los compuestos de la muestra, se pesaron 1000 mg de la muestra, se colocó en un vaso de precipitado con 10 ml de acetonitrilo y calentado a 65°C por 30 minutos.

Se dejó asentar el material suspendido y el sobrenadante fue centrifugado a 100 g por minuto, se filtró a través de una membrana de 0,2 µm, colocado en viales y almacenado a 5°C hasta su análisis HPLC.

Los solventes utilizados en la técnica HPLC fueron filtrados a través de membranas de 0,45 µm.

3.2 Diseño del experimento

La siguiente tabla resume la estrategia descrita y lastres etapas de medición definidas, una subdividida, que implica cuatro diferentes áreas de la metrología:

Etapas de la Investigación				
	I. Material Plástico Factores controlables: Tipo de polímero, aditivos, espesor.	II. Radiación - Desempeño Transmisión - Absorción de radiación $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$		III. Agroproducto Desempeño Resultados: Nutrimentales, licopeno, capsaicina, etc.
		a) Laboratorio	b) Módulo experimental en campo	
Entradas CBC	Factores controlables: a) CBC 1 b) CBC 2 c) CBC 3	Insumos etapa previa: a) CBC 1 -%C b) CBC 2 -%C c) CBC 3 -%C	Insumos etapa previa %T: a) X1 - % T b) X2 - % T c) X3 - % T	Insumos etapa previa - Rad: a) Y1 b) Y2 c) Y3
Entradas Testigos	Factores elegibles: d) CPN e) CPI f) CSC = "0"	Insumos etapa previa: d) CPN - %C e) CPI - %C f) CSC - NA	Insumos etapa previa %T: a) X4 - % T b) X5 - % T c) X6 = 100%	Insumos etapa previa – Rad: d) Y4 e) Y5 f) Y6 = Valor
Salidas CBC	Resultado Composición: a) %C – CBC 1 b) %C – CBC 2 c) %C – CBC 3	Transmitancia CBC Lab: a) X1 - % T b) X2 - % T c) X3 - % T	Absorción CBC Campo: a) Y1 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ b) Y2 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ c) Y3 $\mu\text{mol}/\text{mol}$	Nutrimentales: a) Valor Z1 _{i=1,2...} b) Valor Z2 _{i=1,2...} c) Valor Z3 _{i=1,2...}

Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología

Salidas Testigos	Resultado Composición	Transmitancia Testigos Lab:	Absorción UV Testigos:	Nutrimentales:
	d) %C CPN	d) X4 - % T	d) Y4 $\mu\text{mol/mol}$	d) Valor Z4 _{i=1,2...}
	e) %C CPI	e) X5 - % T	e) Y5 $\mu\text{mol/mol}$	e) Valor Z5 _{i=1,2...}
	f) NA CSC	f) X6 = 100%	f) X6 = 0	f) Valor Z6 _{i=1,2...}

4. Desarrollo e interpretación de resultados

En esta sección se mostrarán los resultados experimentales de los 3 bloques de medición:

1. Materiales
2. Radiación
3. Agroproductos

Por cada bloque se registran, de manera sintética y gráfica, lo que arrojó cada técnica de medición aplicada, en cada muestra y circunstancia específica.

4.1 Mediciones de material plástico

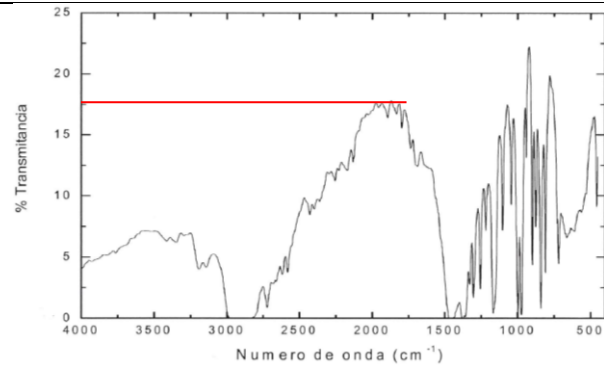
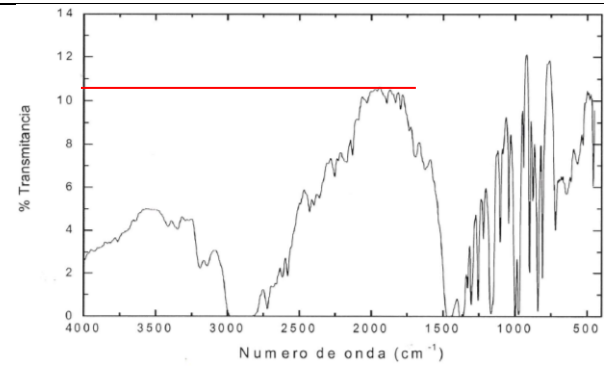
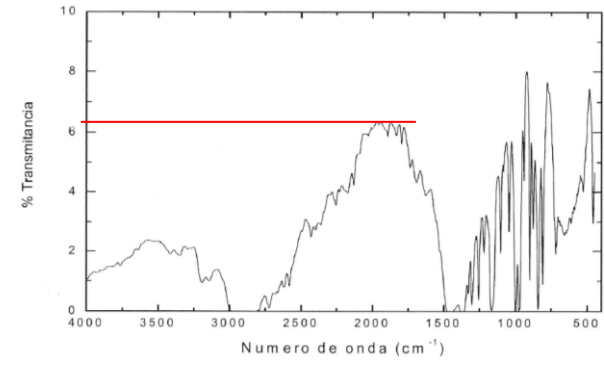
Como indicado en la sección 3, en este grupo de pruebas se aplicaron las técnicas analíticas de:

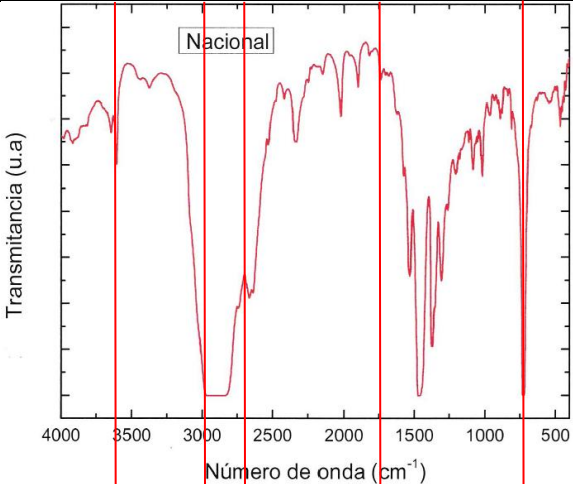
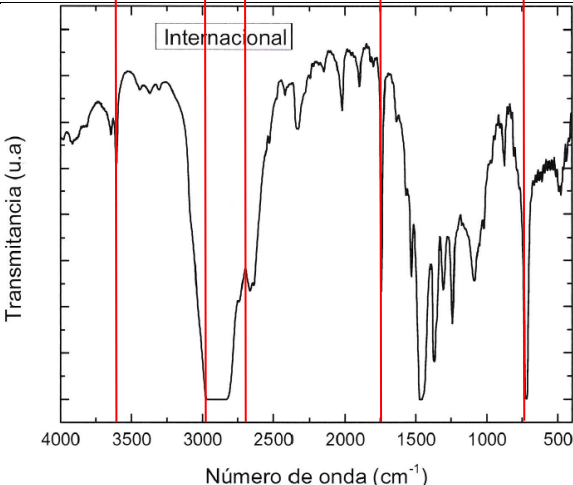
- i. FT-IR
- ii. FRX
- iii. EDEX
- iv. UV-VIS-IRC.

Un aspecto en común de estas técnicas es que analizan la reacción del material a cada longitud de onda (o su inverso, número de onda), y conforme a ello se extraen deducciones de su composición.

A continuación se dan los cromatogramas resultantes y su interpretación, sea cualitativa o cuantitativa.

i. FT-IR

CBCs	Interpretación
 <p data-bbox="375 730 667 760">CBC 1. 700μmoles/m²/s</p>	<p data-bbox="841 352 1024 382">Similitudes:</p> <p data-bbox="841 411 1442 554">El material base de las 3 CBCs se correlaciona por encima de un 90% con polímero, específicamente polipropileno.</p> <p data-bbox="841 625 1442 716">Las 3 CBCs están constituidas de 3 capas: 2 superficiales y 1 central.</p>
 <p data-bbox="375 1157 667 1186">CBC 2. 500μmoles/m²/s</p>	<p data-bbox="841 779 1024 808">Diferencias:</p> <p data-bbox="841 842 1442 1268">Aun cuando la técnica FT-IR no analiza la transmitancia en el espectro en que aplica la radiación PAR, es posible ver que la CBC 1 tiene una mayor transmitancia (casi el doble) que la CBC 3 y, la CBC 2 es un valor intermedio. Esto es, existe la misma proporcionalidad.</p>
 <p data-bbox="375 1583 667 1612">CBC 3. 350μmoles/m²/s</p>	<p data-bbox="841 1325 1442 1604">A partir de ello es posible inferir que los componentes y espesor que diferencian las 3 CBCs afectan en proporción similar la transmitancia en la región IR, por tanto, el comportamiento térmico.</p>

Cubiertas testigo	Interpretación
 <p data-bbox="440 747 500 779">CPN</p>	<p data-bbox="794 243 1395 443">La misma técnica FT-IR se aplicó al análisis de las Cubiertas Plásticas Nacional e Internacional y se obtuvieron los siguientes resultados:</p>
 <p data-bbox="448 1297 492 1329">CPI</p>	<p data-bbox="794 520 1395 611">El material base de las dos cubiertas es un polímero, específicamente polietileno.</p> <p data-bbox="794 684 1395 831">Las bandas de absorción en aproximadamente 3000 cm^{-1} y 1500 cm^{-1} son similares entre los dos testigos.</p> <p data-bbox="794 905 1395 1045">Las formas de los cromatogramas antes, en medio y después son semejantes debido al mismo material base.</p> <p data-bbox="794 1119 1395 1373">En el intervalo de 3000 cm^{-1} y 1500 cm^{-1} existen diferencias entre las 2 cubiertas testigo y las 3 CBCs, siendo mayor la transmitancia en los primeros y más simétrica.</p>

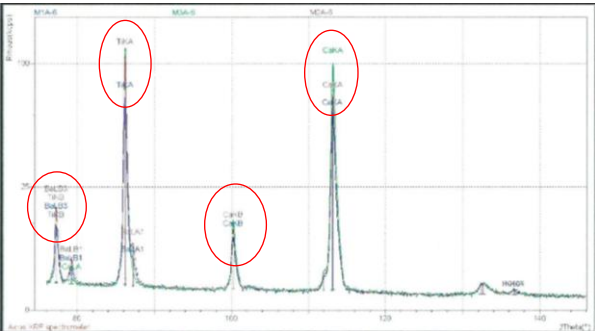
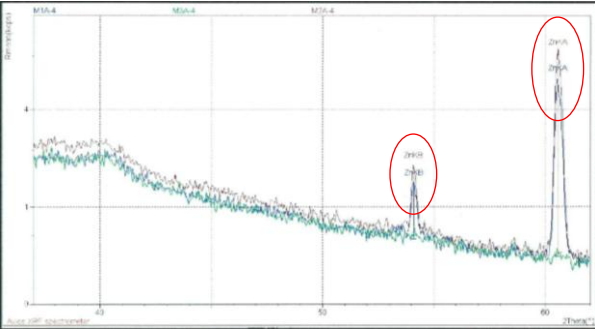
ii. FRX

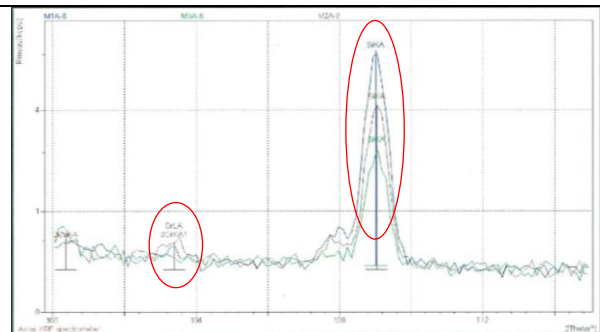
La Fluorescencia de Rayos X (FRX) detecta principalmente los componentes superficiales de los materiales.

Estos componentes son evidenciados por cómo los elementos presentes en el material reaccionan a los RX.

Las siguientes gráficas muestran picos de fluorescencia y en cada uno de ellos se señalan los elementos que podrían ser responsables por tal comportamiento.

Uno de los resultados principales de este análisis, que coincide con el anterior, es que la composición de las 3 CBCs son semejantes entre ellas y las 2 cubiertas testigo también lo son.

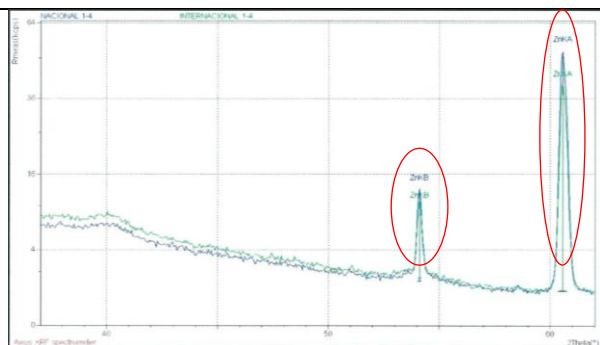
CBCs	Interpretación
 A fluorescence spectrum plot with 'Intensity' on the y-axis and 'Wavelength (nm)' on the x-axis. The x-axis ranges from approximately 40 to 160 nm. There are three prominent peaks circled in red: one at approximately 45 nm labeled 'Ti', one at approximately 85 nm labeled 'Ca', and one at approximately 145 nm labeled 'Ba'. Other smaller peaks are visible but not labeled.	<p>El espectrograma muestra, de manera superpuesta, los resultados de las 3 CBCs y en ellas se aprecia la presencia clara y dominante de: Titanio, Calcio y Bario.</p>
 A zoomed-in fluorescence spectrum plot with 'Intensity' on the y-axis and 'Wavelength (nm)' on the x-axis. The x-axis ranges from approximately 35 to 65 nm. There are two peaks circled in red: one at approximately 45 nm labeled 'Zn' and another at approximately 55 nm labeled 'Zn'. The spectrum shows a noisy baseline that decreases as wavelength increases.	<p>Esos 3 elementos pueden ser responsables por la reflectancia de las CBCs.</p>
<p>Una vez más, los espectrogramas están superpuestos para las 3 CBCs.</p>	<p>Los ejes están amplificados para hacer un zoom y detectar elementos con menor contribución que los anteriores, pero aún significativos.</p>
<p>El espectrograma muestra la presencia de Zinc en las 3 CBCs.</p>	



Presencia de Silicio en las 3 CBCs.

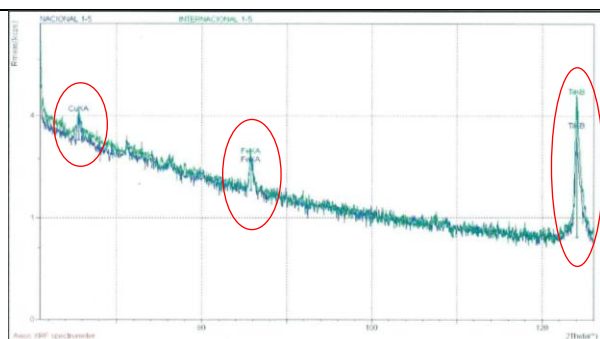
Cubiertas testigo

Interpretación

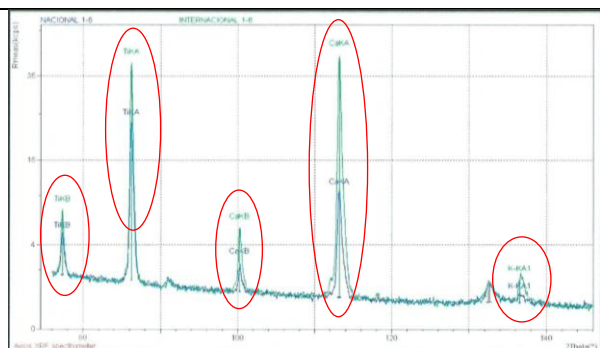


Las 2 cubiertas testigo muestran la presencia dominante de Zinc.

En consecuencia, los picos se presentan en localizaciones semejantes a las CBCs, pero su concentración es bastante mayor.



Haciendo un zoom en el eje vertical, las 2 cubiertas testigo muestran la presencia de: Titanio, Hierro y Cobre.



En un zoom más, las 2 cubiertas testigo muestran presencia de: Titanio, Calcio y Potasio.

iii. EDEX

El microanálisis por espectrometría de difracción de energía de rayos X muestra la estructura superficial de las muestras y da indicios de su composición.

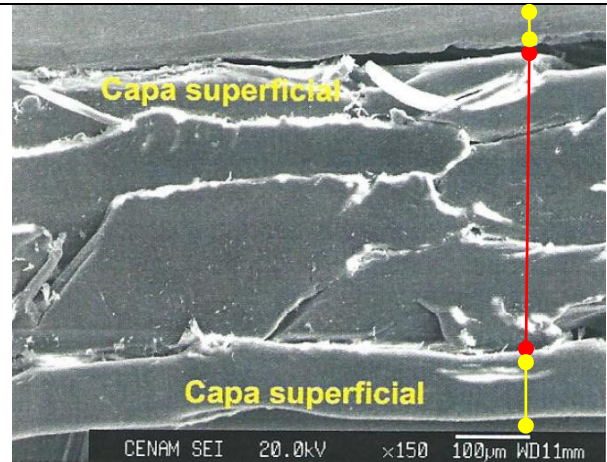
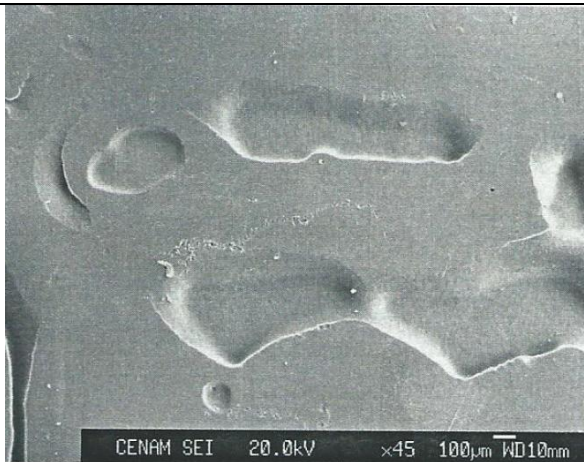
Las siguientes imágenes muestran, sucesivamente, los resultados del análisis de cada muestra:

- a) Superficial. Topología de la superficie.
- b) Transversal. Espesor y composición de las capas.

CBCs

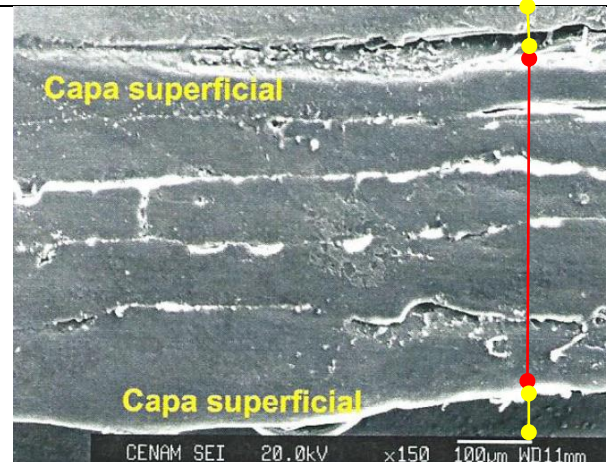
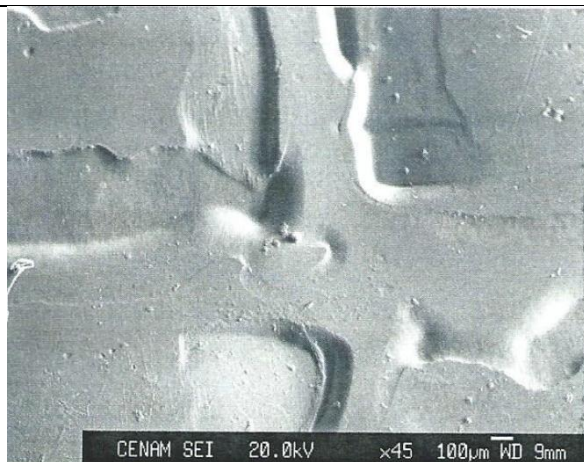
Imagen superficial

Imagen transversal



CBC 1

CBC 1

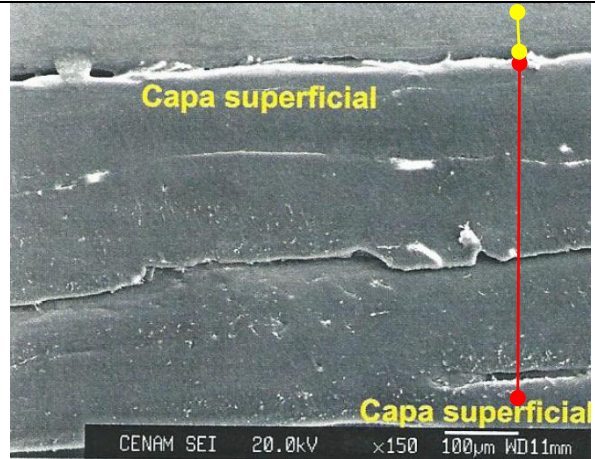


CBC 2

CBC 2



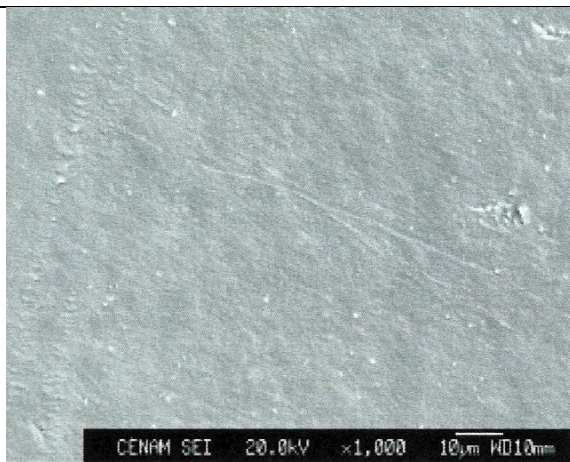
CBC 3



CBC 3

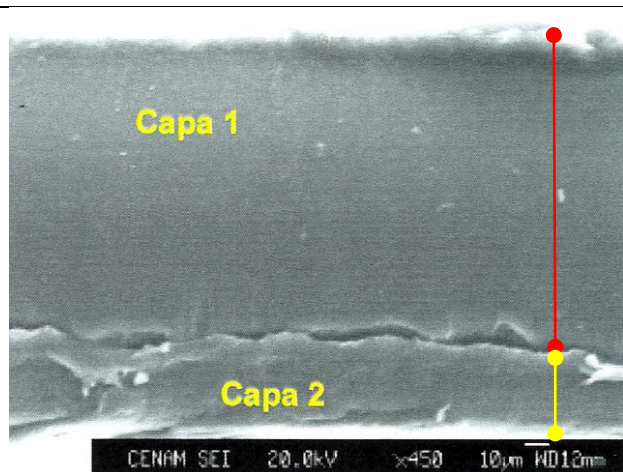
Cubiertas testigo

Imagen superficial

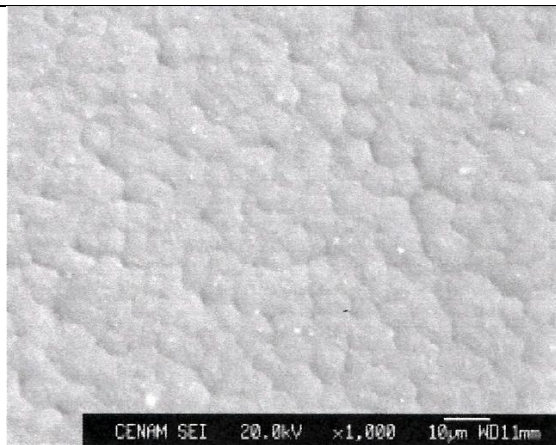


CPN

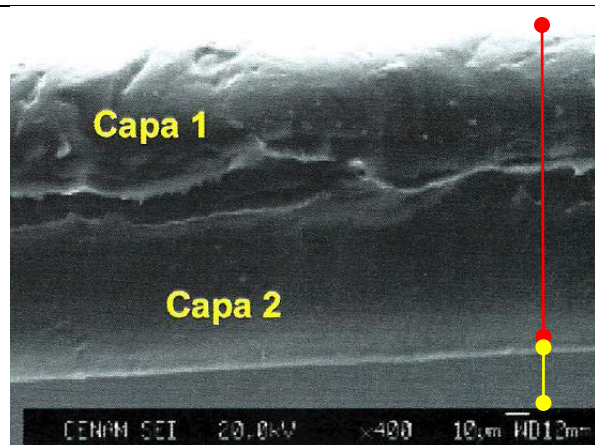
Imagen transversal



CPN



CPI



CPI

Compendio de resultados

Análisis	CBCs	Cubiertas testigo
FT-IR	<p>Área superficial: 55% de correlación con polietileno de baja densidad.</p> <p>Área transversal: 91% de correlación con polipropileno.</p>	<p>Área superficial: 94% de correlación con polietileno.</p> <p>Área transversal: 75% de correlación con poliolefina antiestática.</p> <p>El plástico internacional se correlaciona en un 67% con polietileno:propileno en el área transversal.</p>
FRX	<p><i>Presencia de:</i></p> <p>-</p> <p>Titanio: de 36.96% a 46.38%</p> <p>Calcio: de 19.61% a 24.62%</p> <p>Bario: 7.95% y 8.43% (sólo en las CBCs 2 y 3).</p> <p>-</p>	<p><i>Presencia de (nacional e internacional respectivamente):</i></p> <p>Zinc: 28.61% y 12.32%</p> <p>Titanio: 22.28% y 29.42%</p> <p>Calcio: 9.58% y 17.83%</p> <p>-</p> <p>Silicio: 5.46% y 15.60%</p>
EDEX	<p><i>Presencia de:</i></p> <p><u>Capas superficiales:</u></p> <p>Titanio: de 61.2% a 71.2%</p> <p>Cobre: de 11.2% a 25.9%</p> <p>Zinc: 6% y 14.8% (sólo en las CBCs 2 y 3).</p> <p>-</p> <p><u>Área transversal:</u></p> <p>Titanio: de 16.5% a 61.2%</p>	<p><i>Presencia de (nacional e internacional respectivamente):</i></p> <p><u>Capas superficiales:</u></p> <p>Titanio: 3.75% y 34.08</p> <p>Cobre: 45.20% y 41.22%</p> <p>Zinc: 14.16% y 16.32%</p> <p>Silicio: 31.82% y 7.53%</p> <p><u>Área transversal:</u></p> <p>Titanio: 5% y 52.41%</p>

Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología

	<p>Calcio: de 25.9% a 43.2%</p> <p>Cobre: 8.1% y 26.8% (sólo en las CBCs 1 y 3).</p> <p align="center">-</p>	<p>Calcio: 5.06% y 1.01%</p> <p>Cobre: 40.18% y 34.60%</p> <p>Silicio: 32.76% y 3.10%</p>
--	--	---

CBCs	Cubiertas testigo
<p>Los elementos principales, además del polímero son:</p> <p>Titanio (Ti): entre 35 a 46 fracción masa (%m/m) del contenido elemental (en forma de TiO₂). El dióxido de titanio se utiliza como pigmento blanco, recubrimiento, previene el daño por la luz UV y tiene capacidad de autolimpieza.</p> <p>Calcio (Ca): entre 20 a 25 %m/m del contenido elemental.</p> <p>Se encontraron otros elementos en menor cantidad:</p> <p>Cromo (Cr): CBC1 0.32 mg/kg, CBC2 3400 mg/kg y CBC3 3900 mg/kg. Es preciso realizar análisis por técnicas cuantitativas como Espectrometría de Absorción Atómica, Espectrometría de ICP-OES o ICP-MS.</p> <p>Azufre (S): CBC1 0.18 %m/m, CBC2 3.06 %m/m y CBC3 3.23 %m/m. Es preciso revisar el nivel contenido, ya que es contaminante.</p>	<p>Sí existen diferencias significativas entre las cubiertas Nacional e Internacional.</p> <p>La CPN está constituida por 2 capas iguales en composición. Los elementos principales son:</p> <p>Ti: 22.28 %m/m</p> <p>Ca: 9.58 %m/m</p> <p>La CPI está constituida por 2 capas, una con bajo Ti y otra con alto. Los elementos principales son:</p> <p>Ti: 29.42 %m/m. Es preciso revisar la colocación de las capas del plástico en el invernadero, ya que influye en la transmitancia de la luz.</p> <p>Ca: 17.83 %m/m.</p> <p>Si (SiO₂): 15.60 %m/m.</p>

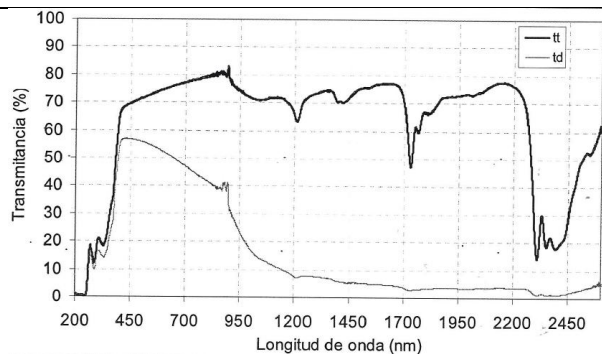
iv. UV-Vis-IRC

La espectrofotometría, en los intervalos de longitud de onda indicados, permite analizar la reflectancia, transmitancia y absorbancia de los materiales.

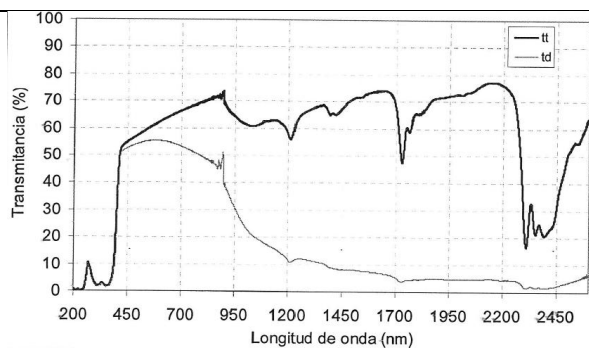
El intervalo entre las líneas rojas corresponde a la parte visible del espectro.

CBCs	Interpretación
<p data-bbox="477 989 565 1018">CBC 1</p>	<p data-bbox="842 632 1440 720">La transmitancia máxima en ningún caso supera al 30%.</p> <p data-bbox="842 741 1440 884">Para interpretar los espectrogramas es preciso hacerlo para cada intervalo del espectro:</p>
<p data-bbox="477 1394 565 1423">CBC 2</p>	<p data-bbox="842 905 1440 1104">Intervalo Ultra Violeta. El principal resultado de estos análisis es que se demuestra el total filtrado, por las 3 CBCs, de la luz ultravioleta.</p> <p data-bbox="842 1125 1440 1377">Intervalo Visible. Existe transmitancia con un comportamiento lineal, se menor a mayor, a medida que se incrementa la longitud de onda.</p>
<p data-bbox="477 1799 565 1829">CBC 3</p>	<p data-bbox="842 1394 1440 1482">Existen ligeras diferencias entre las 3 CBCs, no superiores al 5%.</p> <p data-bbox="842 1503 1440 1650">Intervalo Infra Rojo. Existe transmitancia, pero es menor que en el intervalo visible.</p> <p data-bbox="842 1724 1440 1871">El comportamiento es variable, con algunas bandas de absorción en 1700 nm y 2350 nm.</p>

Cubierta testigo



CPN



CPI

Interpretación

La transmittancia máxima en ambos casos es muy superior al 30% de las CBCs, 80% en el nacional y 70% en el internacional.

Por intervalos el análisis es:

Intervalo Ultra Violeta.

La transmittancia sí es muy baja, pero no es cero; existen algunos picos que llegan a 20% en el nacional y 10% en el internacional.

Intervalo Visible.

La mayor transmittancia se da en este intervalo, aproximadamente 75% en el nacional y 65% en el internacional.

La transmittancia difusa tiende a bajar a medida que se incrementa la longitud de onda.

Intervalo Infra Rojo.

Los niveles de transmittancia total son muy parecidos al visible.

También existen bandas de absorción en las bandas de 1700 nm y 2350 nm, pero no son tan agudas como en los plásticos.

La transmittancia difusa es baja, disminuye con el incremento de la longitud de onda y sus niveles son inferiores al 10% por encima de los 1200 nm.

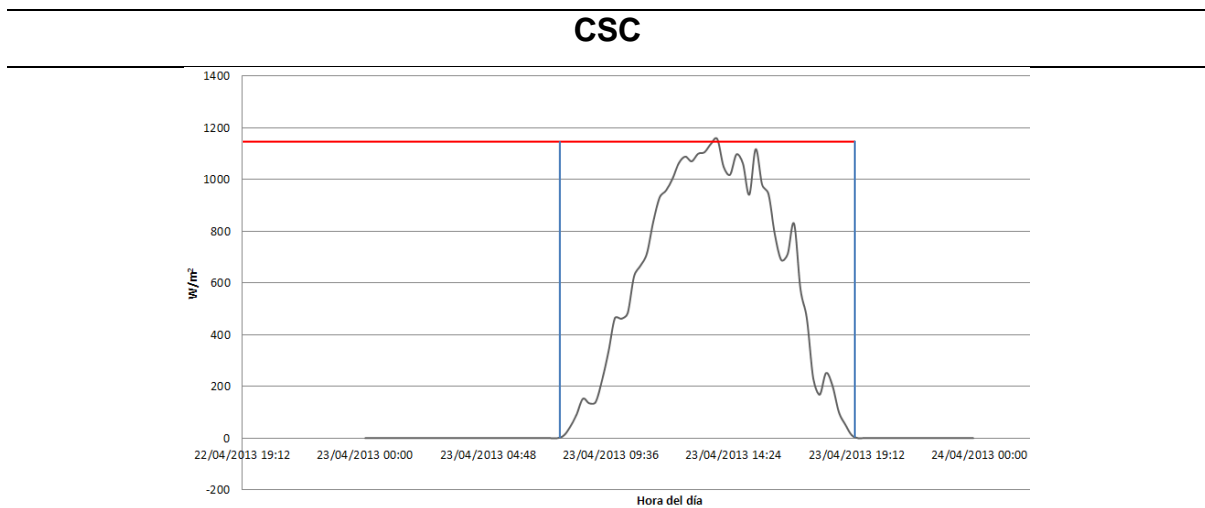
4.2 Mediciones de radiación solar

Las siguientes tablas muestran los cromatogramas y la interpretación de cada una de las mediciones de radiación solar a cielo sin cubierta (CSC) y en los materiales CBCs, CPN, CPI:

- i. Piranométrica
- ii. Radiación PAR
- iii. Radiación UV

i. Piranométrica (W/m^2)

Mide la potencia total de radiación e todo el espectro que incide por unidad de superficie.



Interpretación

Tanto los datos graficados como su interpretación son válidos solamente para la fecha indicada en cada gráfica.

Dado que se contó con sólo dos piranómetros, uno de ellos se instaló a la intemperie como referencia y el otro se rotó en los otros 5 módulos, por tanto no

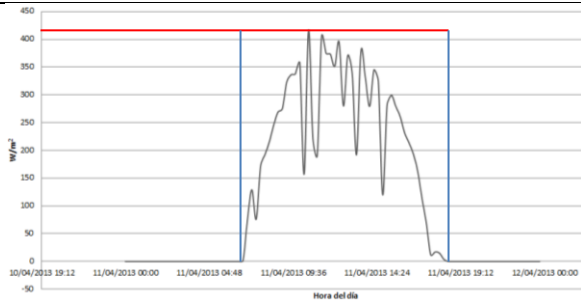
se tienen mediciones simultáneas en ellos.

En fechas diferentes a la fecha de registro los niveles de radiación y horarios varían gradualmente.

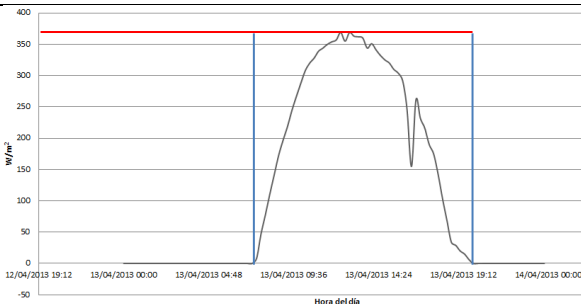
La radiación solar alcanza límites detectables a las 06h00 y se pierde a las 18h00. El máximo nivel de radiación es aproximadamente 1100 W/m^2 , que es aproximadamente el 90% del máximo registrable en la superficie terrestre.

Existen ligeros altibajos en los registros, debidos a nubosidad y variaciones atmosféricas.

CBCs



CBC 1

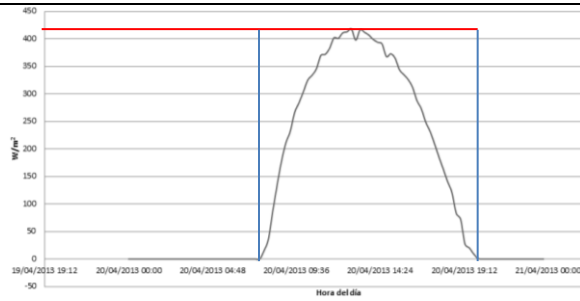


CBC 2

Interpretación

Las 3 CBCs registran niveles de radiación de aproximadamente 1/3 de la radiación registrada a la intemperie.

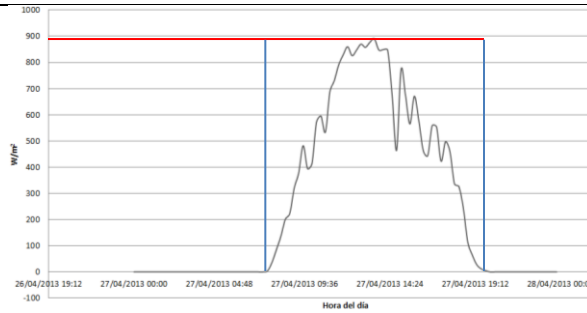
La CBC 2 tiene menor nivel que las otras por aproximadamente 50 W/m^2 ; este resultado es consistente con los resultados espectrofotométricos.



CBC 3

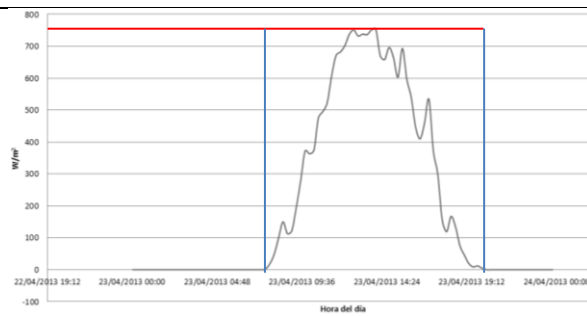
Cubiertas testigo

Interpretación



CPN

Los 2 plásticos testigo registran niveles de radiación de aproximadamente 2/3 de la radiación registrada a la intemperie, esto es, un poco más del doble de cualquiera de las CBCs.

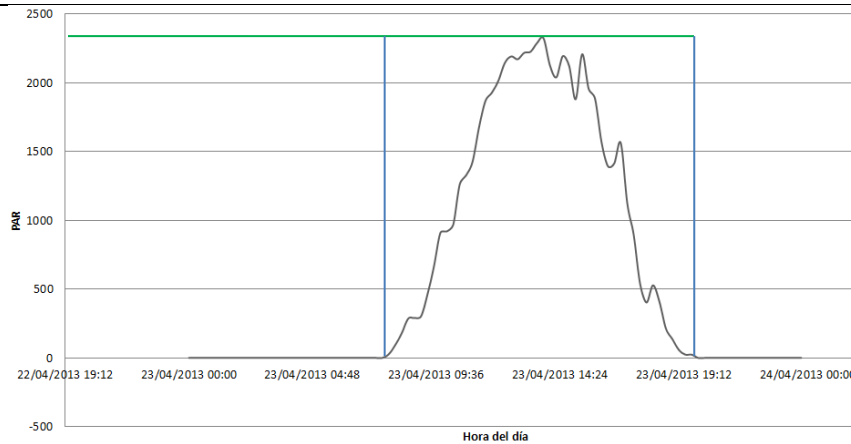


CPI

Aún siendo semejantes en este comportamiento, el plástico internacional registró aproximadamente 100 W/m² menos que el internacional, pero son días diferentes.

ii. Radiación PAR ($\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$)

CSC



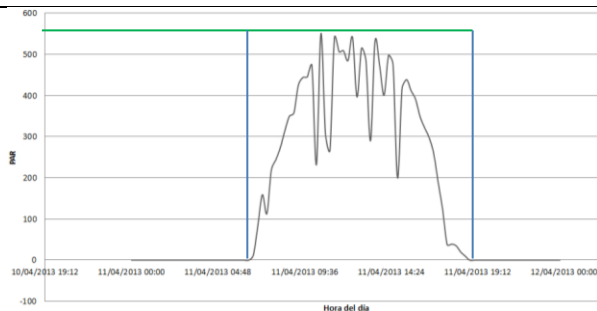
Interpretación

La gráfica muestra los registros de PAR a lo largo del día en la fecha indicada.

Como es de esperarse, el comportamiento es semejante en forma al de radiación total, pero con un factor de filtrado.

Los niveles máximos registrados son de aproximadamente $2200 \mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$ a la intemperie.

CBCs

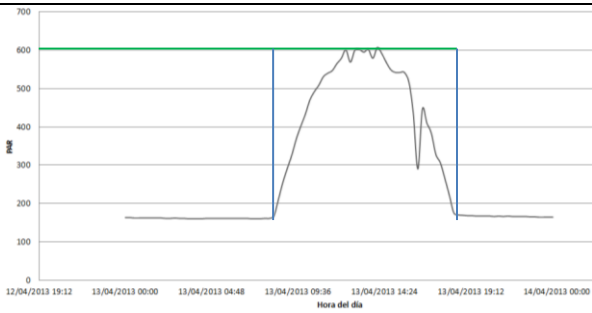


CBC 1

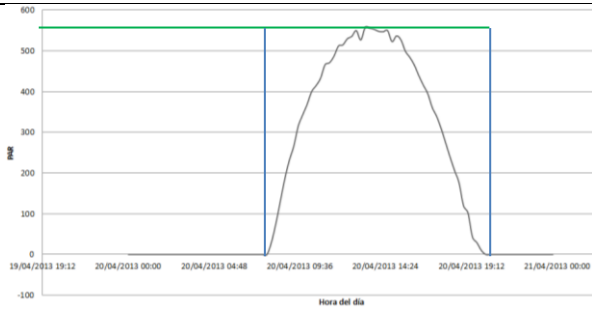
Interpretación

Las 3 CBCs tienen comportamiento semejante y registran valores de PAR entre $550 \mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$ y $600 \mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$, esto es, aproximadamente $\frac{1}{4}$ de lo registrado a la intemperie.

En un primer análisis, esta alta reducción



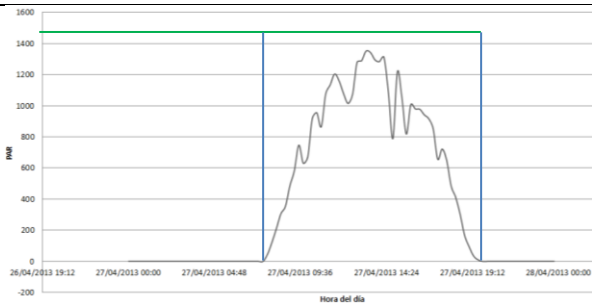
CBC 2



CBC 3

de PAR que es bloqueado por las CBCs podría no ser óptimo para el desarrollo de los cultivos.

Cubiertas testigo

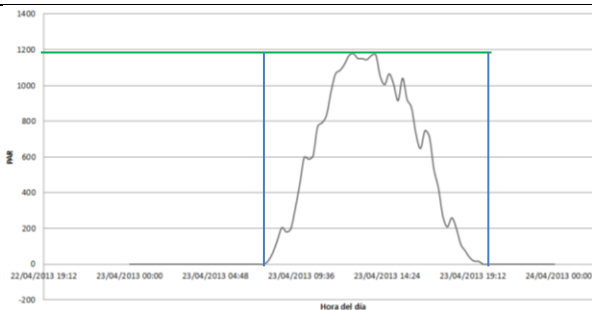


CPN

Interpretación

Los 2 plásticos testigo tienen comportamiento semejante y registran valores de PAR entre 1200 $\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$ y 1300 $\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$, esto es, un poco más de $\frac{1}{2}$ de lo registrado a la intemperie.

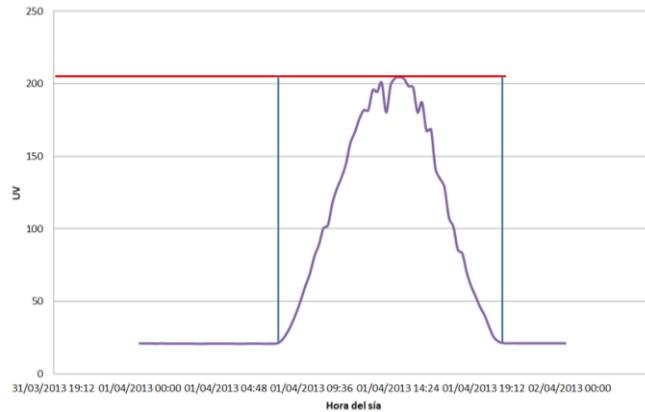
En un primer análisis, la reducción de PAR en los plásticos es alta, pero menor que en las CBCs.



CPI

iii. Radiación UV

CSC

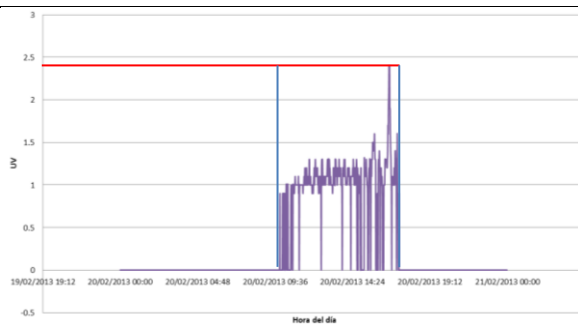


Interpretación

La gráfica muestra los registros de radiación UV a lo largo del día en la fecha indicada.

Los niveles máximos registrados son de aproximadamente 200 $\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$ a la intemperie.

CBCs

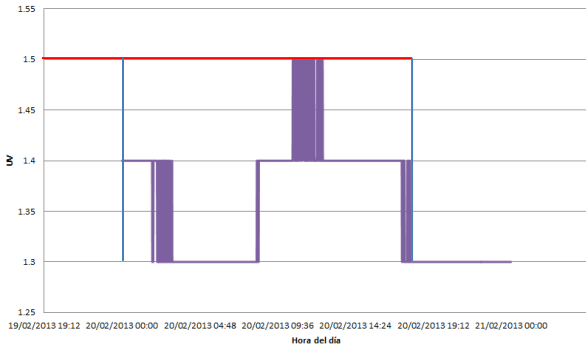


CBC 1

Interpretación

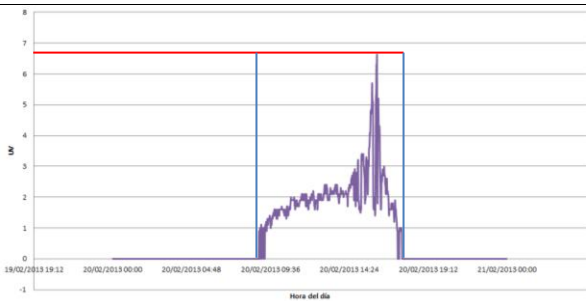
Las 3 CBCs registran niveles sumamente bajos de UV, entre 0 $\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$ y 5 $\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$.

Los saltos discretos que se observan en las gráficas son debidos al umbral de detección y resolución del instrumento,



CBC 2

cuyas lecturas debieron amplificarse mucho para ser visibles.

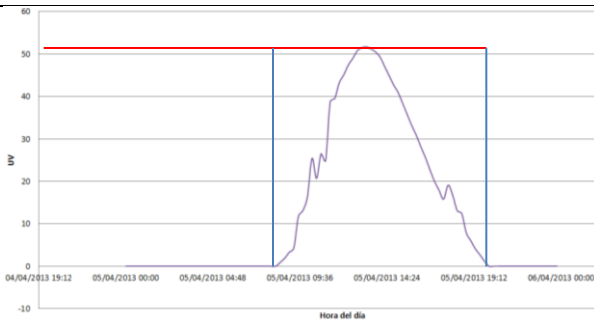


CBC 3

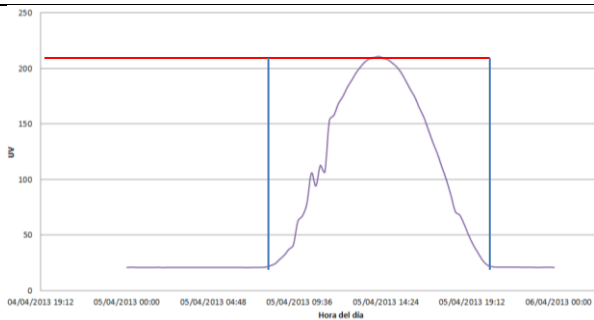
Cubiertas testigo

Interpretación

Los 2 plásticos testigo registran niveles bajos de UV, 50 $\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$ el nacional y 200 $\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$ el internacional.



CPN



CPI

4.3 Mediciones de agroproducto

Muestra

Los agroproductos de los que se dispuso para análisis fueron:

- i. **Tomate Heirloom (2).** Plaza Colima. CBC y Cubierta Testigo.
 - ii. **Naranja (1).** Plaza Colima. CBC.
 - iii. **Chile Jalapeño (6).** Plaza Querétaro. CBC1, CBC2, CBC3, CPN, CPI, CSC.
-
- i. **Tomate heirloom**

Se cultivó el tomate en los invernaderos de Colima, tanto en CBC (Investigador) como en Plástico Testigo (Productor).

Se obtuvieron 6 muestras de tomate de cada uno de ellos.

A cada muestra se le midieron los siguientes parámetros:

- + pH y Grados Brix.
- + Ácidos orgánicos: Cítrico, Málico, Tartárico.
- + Vitamina C: Ácido Ascórbico y Ácido Dehidroascórbico.

+ pH y grados Brix

Tipo de Cubierta	Parámetro	
	pH	Brix
Testigo	4.23	3.3
	4.12	3.7
	4.22	3.5
	4.23	3.4
	4.13	4.1
	4.13	4.1
X – R	Máx. Variación: 0.11 Media: 4.17	Máx. Variación: 0.80 Media: 3.68
CBC	4.18	3.7
	4.14	4.1
	4.19	3.65
	4.47	4.05
	4.33	4.0
	4.21	3.7
X – R	Máx. Variación: 0.33 Media: 4.25	Máx. Variación: 0.45 Media: 3.87

Interpretación pH

Los valores típicos de pH para tomate heirloom fresco están en el intervalo ácido, entre 4.1 y 4.9 pH.

Los valores obtenidos en los dos invernaderos caen en este intervalo, siendo el menor en el plástico testigo con 4.12 y el mayor en la CBC con 4.47.

La variación entre muestras en el plástico testigo fue muy pequeña, con un rango entre mínimo y máximo de 0.11 y una media en 4.17.

La variación entre muestras en la CBC fue mayor, con un rango de 0.33 y una media de 4.25.

La diferencia entre medias del plástico testigo y CBC fue de 0.08, inferior a la variabilidad observada internamente en cada uno de los invernaderos.

Los resultados indican que el pH en la CBC fue ligeramente más alto, pero con baja significancia estadística.

Interpretación grados Brix

Los valores típicos de Brix para el tomate fresco son entre 5 y 7.5, con una media aproximada en 6.75 Brix.

Esto depende de la variedad, el suelo y otros factores, pero no se encontraron datos en la literatura para la variedad heirloom.

Los valores obtenidos en los dos invernaderos son bastante inferiores a lo indicado arriba, siendo el menor en el plástico testigo en 3.1 y el mayor en ambos casos con 4.1

La variación entre muestras en el plástico testigo fue mayor que en la CBC, con un rango entre mínimo y máximo de 0.8 y una media de 3.68.

La variación entre muestras en la CBC fue menor, con un rango de 0.45 y una media de 3.87.

La diferencia entre medias del plástico testigo y la CBC fue de 0.19, inferior a la variabilidad observada internamente en cada uno de los invernaderos.

Los resultados parecen indicar que los grados Brix fueron ligeramente superiores en la CBC, pero con baja significancia estadística.

Resultados generales. pH y grados Brix

En general, este experimento no arroja suficiente información para llegar a interpretaciones concluyentes respecto a diferencias significativas entre los cultivos en el plástico y en la CBC.

+ Ácidos orgánicos

Tipo de Cubierta	Contenido de Ácidos Orgánicos (g/100 g)		
	Cítrico	Málico	Tartárico
Testigo	4.17	3.98	4.46
	4.69	4.48	5.02
	5.67	5.42	6.07
	5.04	4.82	5.4
	6.55	6.26	7.01
	5.71	5.46	6.11
X – R	Máx. Variación: 2.38 Media: 5.30	Máx. Variación: 2.28 Media: 5.07	Máx. Variación: 2.45 Media: 5.67
CBC	5.15	4.92	5.51
	6.97	6.66	7.46
	6.06	5.79	6.48
	4.90	4.69	5.25
	5.88	5.62	6.3
	6.06	5.79	6.48
X – R	Máx. Variación: 2.07 Media: 5.83	Máx. Variación: 1.97 Media: 5.57	Máx. Variación: 2.21 Media: 6.24

Interpretación ácido cítrico

El valor mínimo de las 12 muestras fue de 4.17 g/100g y ocurrió en el plástico testigo; el máximo de 6.97 g/100g ocurrió en la CBC.

La máxima variación en ambos casos tuvo valores cercanos, 2.38 g/100g para el plástico testigo y 2.07 g/100g en la CBC.

La media de ambos casos también tuvo valores cercanos, 5.30 g/100g en el plástico testigo y 5.83 g/100g en la CBC.

Se aprecia una ligera tendencia a valores superiores en la CBC, respecto al plástico testigo, y también a que la CBC tenga menor dispersión.

La diferencia entre medias fue pequeña, de 0.53 g/100g, inferior a la máxima variación dentro de un mismo invernadero, en los dos casos.

Interpretación ácido tartárico

El valor mínimo de las 12 muestras fue de 3.98 g/100g y ocurrió en el plástico testigo; el máximo fue de 6.66 g/100g y ocurrió en la CBC.

La máxima variación en ambos casos tuvo valores cercanos, 2.28 g/100g para el plástico testigo y 1.97 g/100g en la CBC.

La media de ambos casos también tuvo valores cercanos, 5.07 g/100g en el plástico testigo y 5.57 g/100g en la CBC.

Se aprecia una ligera tendencia a valores superiores en la CBC, respecto al plástico testigo.

La diferencia entre medias fue pequeña, de 0.50 g/100g, inferior a la máxima variación dentro de un mismo invernadero, en los dos casos.

Interpretación ácido málico

El valor mínimo de las 12 muestras fue de 4.46 g/100g y ocurrió en el plástico testigo; el máximo fue de 7.46 g/100g y ocurrió en la CBC.

La máxima variación en ambos casos tuvo valores cercanos, 2.25 g/100g para el plástico testigo y 2.21 g/100g en la CBC.

La media de ambos casos también tuvo valores cercanos, 5.67 g/100g en el plástico testigo y 6.24 g/100g en la CBC.

Se aprecia una ligera tendencia a valores superiores en la CBC, respecto al plástico testigo.

La diferencia entre medias fue pequeña, de 0.57 g/100g, inferior a la máxima variación dentro de un mismo invernadero, en los dos casos.

Resultados generales. Ácidos orgánicos

Las tendencias registradas parecen indicar valores de los 3 ácidos ligeramente superiores en la CBC, lo mismo que menor variabilidad.

La diferencia entre medias es menor que la máxima variación entre muestras de un mismo invernadero y, en general hay pocos elementos para inferir diferencias concluyentes.

+ Vitamina C

Tipo de Cubierta	Contenido de Vitamina C (mg/100 g)	
	Ascórbico	Dehidroascorbico
Testigo	12.06	ND
	12.26	ND
	11.96	ND
	11.57	ND
	10.94	ND
	10.97	ND
X – R	Máx. Variación: 1.32 Media: 11.62	Máx. Variación: ND Media: ND

Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología

CBC	9.24	ND
	10.09	ND
	11.27	0.74
	11.66	1.2
	9.93	1.21
	10.47	8.39
X – R	Máx. Variación: 2.42 Media: 10.44	Máx. Variación: 7.65 Media: 2.88

Interpretación ácido ascórbico

El valor mínimo de las 12 muestras fue de 9.24 g/100g y ocurrió en la CBC; el máximo fue de 12.26 g/100g y ocurrió en el plástico testigo.

La máxima variación en ambos casos tuvo valores de 1.32 g/100g para el plástico testigo y 2.42 g/100g en la CBC.

La media de ambos casos tuvo valores de 11.62 g/100g en el plástico testigo y 10.44 g/100g en la CBC.

Se aprecia una ligera tendencia a valores inferiores en la CBC, respecto al plástico testigo.

La diferencia entre medias fue de 1.18 g/100g, inferior a la máxima variación dentro de un mismo invernadero, en los dos casos.

Interpretación ácido dehidroascórbico

En el plástico testigo no se obtuvieron valores detectables.

En la CBC se obtuvieron valores entre no detectable y 8.39 g/100g.

Aún en este caso hubo 2 valores no detectables, 3 cercanos a uno y sólo el extremo de 8.39 g/100g, por lo que la media de 2.88 g/100 g podría ser poco representativa.

El comportamiento errático de esta sustancia implica que deberán realizarse más análisis.

Resultados generales. Vitamina C

Las tendencias registradas parecen indicar que los valores de ácido ascórbico son mayores en el plástico testigo, en tanto que los de ácido dehidroascórbico son mayores en la CBC.

La alta variabilidad de los resultados de ácido dehidroascórbico podría ser debida a comportamiento atípico de alguna muestra.

No resultados concluyentes pueden ser extraídos de estos análisis.

ii. Naranja

Se cultivó naranja en el predio de Las Golondrinas (Investigador), en Colima, bajo CBC.

Se obtuvieron 5 muestras de naranjas del mismo invernadero.

A cada muestra se le midieron los siguientes parámetros:

- + pH y Grados Brix
- + Ácidos orgánicos: Cítrico, Málico, Tartárico.
- + Vitamina C: Ácido Ascórbico y Ácido Dehidroascórbico.

+ pH y grados Brix

Tipo de Cubierta	Parámetro	
	pH	Brix
CBC	3.75	10.30
	3.86	10.35
	3.72	8.95
	3.85	10.30
	3.75	10.25
X – R	Máx. Variación: 0.14 Media: 3.78	Máx. Variación: 1.40 Media: 10.03

Interpretación pH

Los valores típicos de pH para la naranja son entre 3 y 4.

Los valores obtenidos caen en este intervalo, siendo el menor de 3.72 y el mayor de 3.86.

La variación entre muestras fue muy pequeña, con un rango entre mínimo y máximo de 0.14 y una media de 3.78.

Ningún resultado fuera de lo normal fue registrado.

Interpretación grados Brix

Los valores típicos de Brix para el tomate fresco son entre 10 y 12.

Esto depende de la variedad, el suelo y otros factores, así como del grado de maduración.

Los valores obtenidos para las muestras caen en el intervalo esperado, siendo el menor de 8.95 y el mayor de 10.35.

La máxima variación entre muestras es de 1.40 y la media es de 10.03.

Ningún resultado fuera de lo normal fue registrado.

+ Ácidos orgánicos

Tipo de Cubierta	Contenido de Ácidos Orgánicos (g/100 g)		
	Cítrico	Málico	Tartárico
CBC	13.44	12.86	14.40
	14.35	13.73	15.38
	11.55	11.05	12.38
	13.32	11.79	13.20
	12.88	13.32	13.80
X – R	Máx. Variación: 2.80 Media: 13.10	Máx. Variación: 2.68 Media: 12.55	Máx. Variación: 3.0 Media: 13.83

Interpretación de ácidos orgánicos

Ácido Cítrico.

Tiene valores entre 11.55 g/100 g y 14.35 g/100 g.

La máxima variación es de 2.80 g/100 g y la media de 13.10 g/100 g.

Ácido Málico.

Tiene valores entre 11.05 g/100 g y 13.73 g/100 g.

La máxima variación es de 2.68 g/100 g.

Ácido Tartárico.

Tiene valores entre 12.38 g/100 g y 15.38.

La máxima variación es de 3.0 g/100 g.

Resultados generales

En el caso de la naranja no existió un testigo ni se tiene referencia para comparación, otra que la que se reporta en la literatura.

A este respecto no existen anomalías en los valores medidos.

+ Vitamina C

Tipo de Cubierta	Contenido de Vitamina C (mg/100 g)	
	Ascórbico	Dehidroascórbico
CBC	50.66	ND
	46.60	ND
	53.66	ND
	48.45	ND
	48.33	ND
X – R	Máx. Variación: 7.06 Media: 49.54	Máx. Variación: ND Media: ND

Interpretación ácido ascórbico

El valor mínimo de las 5 muestras fue de 46.00 g/100 g y el valor máximo de 53.66 g/100 g.

La máxima variación fue de 7.06 g/100 g y la media de 49.54 g/100 g.

Interpretación ácido dehidroascórbico

No existieron niveles detectables.

Resultados generales

No existió testigo ni otra referencia experimental, solamente valores de referencias bibliográficas.

No existen anomalías en los valores medidos.

iii. Chile jalapeño

Se cultivó el chile jalapeño en los 6 módulos de CENAM, Querétaro.

Los módulos fueron: 3 CBC, 2 plásticos testigo y 1 cielo abierto.

A cada muestra se le midieron los siguientes parámetros:

- + pH y Grados Brix.
- + Ácidos orgánicos: Cítrico, Málico, Tartárico.
- + Vitamina C: Ácido Ascórbico y Ácido Dehidroascórbico.
- + Capsaicinoides: Capsaicina e Dehidrocapsaicina.
- + Ácidos fenólicos: Gálico, Rutina, EGCG, Benzoico y Cafeico.

Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos; los 6 módulos están organizados de mayor radiación en el cultivo a menor, existiendo cierto traslape entre los plásticos y las CBC 1 y 2.

+ pH y grados Brix

Tipo de Cubierta		Parámetro	
		pH	Brix
Testigo	Abierto	6.33	0.60
	Nacional	5.95	0.70
	Internac.	5.72	0.80
X – R		Máx. Variación: 0.61 Media: 6.0	Máx. Variación: 0.20 Media: 0.70
CBC	1	6.02	0.75
	2	6.02	0.65
	3	5.49	0.95
X – R		Máx. Variación: 0.53 Media: 5.84	Máx. Variación: 0.30 Media: 0.78

Interpretación pH

Los valores típicos de pH para chile jalapeño fresco están en el intervalo ligeramente ácido.

Los valores obtenidos para las 6 muestras caen en el intervalo de 5.49 (en CBC 3) a 6.33 (CSC).

El valor de 6.33 obtenido a la intemperie (máxima radiación) es claramente superior a todos los demás y por tanto no se promediará.

La media entre los dos plásticos es de 5.88 y la variación de 0.23.

El valor de 5.49 obtenido en la CBC3 (menor radiación) es el mínimo.

La media entre las tres CBCs es de 5.84 y la máxima variación de 0.53.

Los resultados parecerían indicar una tendencia a que, con mayor radiación, se tiene un mayor valor de pH en el chile jalapeño.

Interpretación grados Brix

Los valores típicos de grados Brix en el chile jalapeño son bajos, dado el relativamente bajo contenido de sólidos y de azúcares.

Los valores obtenidos para las 6 muestras están en el intervalo de 0.60 (CSC) a 0.95 (CBC3).

La media de los plásticos e intemperie es de 0.70 y la máxima variación de 0.20

La media de las tres CBCs es de 0.78 y la máxima variación de 0.30.

Los resultados parecerían indicar una tendencia inversa a la del pH, esto es, a mayor radiación, menor valor Brix.

Resultados generales. pH y grados Brix

Tanto los valores de pH y Brix sí parecen ser sensibles a la radiación, con tendencias relativamente claras.

La variación de pH entre mínimo y máximo fue de 14%, directamente proporcional a la radiación.

La variación de Brix entre mínimo y máximo fue de 36%, inversamente proporcional a la radiación.

+ Ácidos orgánicos

Tipo de Cubierta		Contenido de Ácidos Orgánicos (g/100 g)		
		Cítrico	Málico	Tartárico
Testigo	Abierto	2.35	2.24	2.51
	Nacional	1.96	1.87	2.10
	Internac.	2.03	1.94	2.17
X – R		Máx. Variación: 0.39 Media: 2.11	Máx. Variación: 0.37 Media: 2.01	Máx. Variación: 0.41 Media: 2.26
CBC	1	2.10	2.01	2.25
	2	2.52	2.41	2.70
	3	3.12	2.98	3.33
X – R		Máx. Variación: 0.42 Media: 2.68	Máx. Variación: 0.97 Media: 2.46	Máx. Variación: 1.08 Media: 2.76

Interpretación ácido cítrico

El valor mínimo de 1.96 g/100g ocurrió en el plástico nacional.

El valor máximo de 3.12 g/100g ocurrió en la CBC3.

La media de los testigos fue de 2.11 g/100g y su máxima variación 0.39 g/100g.

La media de las CBCs fue de 2.68 g/100g y su máxima variación de 0.42 g/100g.

No se percibe correlación clara de variación en el contenido de ácido cítrico con la radiación.

Interpretación ácido málico

El valor mínimo de 1.87 g/100g ocurrió en el plástico nacional.

El valor máximo de 2.98 g/100g ocurrió en la CBC3.

La media de los testigos fue de 2.01 g/100g y su máxima variación 0.37 g/100g.

La media de las CBCs fue de 2.46 g/100g y su máxima variación de 0.97 g/100g.

No se percibe correlación clara de variación en el contenido de ácido málico con la radiación.

Interpretación ácido tartárico

El valor mínimo de 2.10 g/100g ocurrió en el plástico nacional.

El valor máximo de 3.33 g/100g ocurrió en la CBC3.

La media de los testigos fue de 2.26 g/100g y su máxima variación 0.41 g/100g.

La media de las CBCs fue de 2.76 g/100g y su máxima variación de 1.08 g/100g.

No se percibe correlación clara de variación en el contenido de ácido málico con la radiación.

Resultados generales. Ácidos orgánicos

En ninguno de los casos se percibe correlación clara de variación en el contenido de ácidos orgánicos con la radiación.

No obstante, se observan aspectos interesantes como:

- + Todos los valores mínimos ocurrieron en el plástico nacional.
- + Todos los valores máximos ocurrieron en el plástico internacional.
- + Esto indicaría un comportamiento con la radiación, de mayor a menor, como:
Medio-Bajo-Medio-Alto.

El comportamiento descrito requiere mayor análisis y puede ser significativo, ya que los porcentajes de variación son entre 20% y 30%.

+ Vitamina C

Tipo de Cubierta		Contenido de Vitamina C (mg/100 g)	
		Ascórbico	Dehidroascorbico
Testigo	Abierto	32.64	ND
	Nacional	40.33	ND
	Internac.	37.69	ND
X – R		Máx. Variación: 7.69 Media: 36.88	Máx. Variación: ND Media: ND
CBC	1	32.16	ND
	2	33.43	ND
	3	26.87	ND
X – R		Máx. Variación: 6.56 Media: 30.82	Máx. Variación: ND Media: ND

Interpretación ácido ascórbico

El valor mínimo de las 6 muestras fue de 26.87 g/100 g en la CBC3 y el valor máximo de 40.33 g/100 g en el plástico nacional.

La media en los testigos fue de 36.88 y su máxima variación de 7.69 g/100 g.

La media en las CBCs fue de 30.82 y su máxima variación de 6.56 g/100 g.

No parece haber correlación entre la variación en el contenido de ácido ascórbico con la radiación.

No obstante, las diferencias entre mínimo y máximo sí son significativas, aproximadamente 40%

Interpretación ácido dehidroascórbico

No se presentaron valores detectables.

+ Capsaicinoides

Tipo de Cubierta		Contenido de Capsaicinoides (mg/100 g)	
		Capsaicina	Dehidrocapsaicina
Testigo	Abierto	9.56	19.56
	Nacional	16.84	32.02
	Internac.	36.35	63.39
X – R		Máx. Variación: 26.79 Media: 20.91	Máx. Variación: 43.83 Media: 38.32
CBC	1	25.37	35.24
	2	10.05	13.47
	3	39.75	54.83
X – R		Máx. Variación: 29.70 Media: 25.05	Máx. Variación: 41.36 Media: 34.51

Interpretación capsaicina

El valor mínimo de las 6 muestras fue de 9.56 g/100 g a cielo abierto (máxima radiación) y el valor máximo de 39.75 g/100 g en la CBC3 (mínima radiación).

La media en los testigos fue de 20.91 y su máxima variación de 26.79 g/100 g, no obstante, el valor a cielo abierto podría considerarse atípico.

La media en las CBCs fue de 25.05 y su máxima variación de 29.70 g/100 g; aun cuando el valor de la CBC2 origina esta gran variación, en este caso no hay razones para considerarlo atípico desde el punto de vista de la radiación.

Interpretación dehidrocapsaicina

El valor mínimo de las 6 muestras fue de 13.47 g/100 g en la CBC2 y el valor máximo de 63.39 g/100 g en la CBC3.

La media en los testigos fue de 38.32 y su máxima variación de 43.83 g/100 g; el valor a cielo abierto podría considerarse atípico.

La media en las CBCs fue de 34.51 y su máxima variación de 41.36 g/100 g; aun cuando el valor de la CBC2 origina esta gran variación, en este caso no hay razones para considerarlo atípico desde el punto de vista de la radiación.

Resultados generales. Capsaicinoides

La búsqueda de correlación entre contenido de capsaicina y radiación podría indicar una variación inversamente proporcional, a juzgar por los valores extremos.

Esto es válido para los dos grupos, tanto testigos como CBCs, y en ambos casos el máximo contenido de capsaicinoides se logra con el mínimo de radiación.

No obstante, el bajo valor de la CBC2 podría indicar un comportamiento un tanto errático o la influencia de algún otro factor, como la genética.

Es preciso realizar mayores experimentos para llegar a resultados concluyentes.

+ Ácidos fenólicos

Tipo de Cubierta		Contenido de Ácidos Fenólicos (mg/100 g)				
		Gálico	Rutina	EGCG	Benzoico	Caféico
Testigo	Abierto	4.86	3.43	3.54	1.02	23.40
	Nacional	6.03	8.47	10.16	0.63	25.55
	Internac.	5.32	7.18	4.38	1.10	24.17
X – R		Máx. Variación: 1.17 Media: 5.40	Máx. Variación: 5.04 Media: 6.36	Máx. Variación: Media: 6.02	Máx. Variación: 6.62 Media: 0.91	Máx. Variación: 2.15 Media: 24.37
CBC	1	5.24	13.81	9.30	2.07	16.82
	2	5.09	7.96	6.70	1.10	20.12
	3	6.03	16.69	3.64	1.91	22.08
X – R		Máx. Variación: 0.94 Media: 5.45	Máx. Variación: 8.73 Media: 12.82	Máx. Variación: 5.66 Media: 6.54	Máx. Variación: 0.97 Media: 1.69	Máx. Variación: 5.26 Media: 19.67

Resultados generales. Ácidos fenólicos

Grupo de módulos testigo.

En general, los valores mínimos de ácidos fenólicos ocurren a cielo abierto, excepto en un caso.

De la misma manera, los valores máximos ocurren en el plástico nacional.

Grupo de CBCs.

Con cierta tendencia, los valores mínimos ocurren en la CBC2.

Los valores máximos tienden a ocurrir en la CBC3.

General.

No existe una tendencia clara que permita correlacionar los contenidos de ácidos fenólicos con la radiación.

5. Conclusiones y trabajo futuro

Inferencias sobre el análisis completo de correlación Material-Radiación-Agroproducto.

En general, los 3 bloques de mediciones realizadas en el proyecto parecerían indicar algunas tendencias que se mencionan debajo de manera sintética.

Material-Radiación

- Sí existe correlación clara entre el tipo y composición del material del plástico o CBC con sus propiedades ópticas, principalmente la transmitancia en los diferentes intervalos del espectro.
- Sí existe correlación clara entre las propiedades ópticas a nivel laboratorio y en campo.

Radiación-Agroproducto

- Niveles claros de correlación entre radiación y agroproducto se pudieron observar sólo en algunos casos como el pH y Brix o la capsaicina en chile jalapeño.
- La cuantificación clara de su influencia requiere de mayores estudios y diseños más controlados.
- En algunos otros casos como la vitamina C y los ácidos fenólicos el comportamiento observado fue errático y quizá se podría inferir que la radiación no los afecta.
- Estos resultados permitirán centrar la atención en ciertos nutrimentales o nutracéuticos que sí son afectados por la radiación y diseñar experimentos con mayor control y más enfocados a ellos.

Trabajo futuro

Se continuará en colaboración con los participantes de este proyecto y los módulos de prueba serán transferidos al campo agronómico experimental de la Universidad Autónoma de Querétaro en Amealco, para continuar con las investigaciones.

6. Bibliografía y referencias

- 2000 Agro. (2012). Redimensiona la AMHPAC retos y oportunidades de la agricultura protegida. *2000 Agro Revista Industrial del Campo*.
- Arboledas Brihuega, D. (2011). *Jerarquía estructural de las proteínas*. España: Club Universitario.
- Astrofísica y Física. (28 de junio de 2012). *Astrofísica y física*. Recuperado el 07 de mayo de 2013, de ¿Qué es el espectro electromagnético?: <http://www.astrofisicayfisica.com/2012/06/que-es-el-espectro-electromagnetico.html>
- Bello Gutiérrez, J. (2000). *Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos*. Díaz de Santos.
- Carrasco Ríos, L. (2009). *Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas*. Chile: IDESIA.
- Challem, J., & Brown, L. (2010). *Vitaminas y minerales esenciales para la salud*. Nowlitis.
- Conde Ortiz, M. P. (2012). *PEMEX Petroquímica*. Recuperado el 29 de abril de 2013, de Presente y futuro de la industria del plástico en México: <http://www.ptq.pemex.mx/productosyservicios/eventosdescargas/Documents/Foro%20PEMEX%20Petroqu%C3%ADmica/2012/03%20Mercado%20pl%C3%A1sticos%202012.pdf>
- Conde Ortiz, M. P. (2012). *PTQ PEMEX*. Recuperado el 28 de abril de 2013, de Presente y futuro de la industria del plástico en México: <http://www.ptq.pemex.mx/productosyservicios/eventosdescargas/Documents/Foro%20PEMEX%20Petroqu%C3%ADmica/2012/03%20Mercado%20pl%C3%A1sticos%202012.pdf>
- Departamento Económico y Social. (s.f.). *Depósito de documentos de la FAO*. Recuperado el 23 de 04 de 2013, de La reducción de la pobreza y el hambre: <http://www.fao.org/docrep/003/Y6265S/y6265s03.htm>
- Díaz, T., Espí, E., Fontecha, A., Jiménez, J. C., López, J., & Salmerón, A. (2001). *Los filmes plásticos en la producción agrícola*. Madrid, España: Mundi-Prensa.

- Entrala Bueno, A. (1995). *Vitaminas: aspectos prácticos en medicina*. Díaz de Santos.
- Evaluación Internacional de las Ciencias y Tecnologías Agrícolas para el Desarrollo. (2008). *Green Facts*. Recuperado el 02 de mayo de 2013, de Agricultura y desarrollo: <http://www.greenfacts.org/es/agricultura-desarrollo/index.htm#il1>
- FAO, Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor. (abril de 2007). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Recuperado el 23 de abril de 2013, de La agricultura y el medio ambiente: es hora de intervención mundial: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0704sp1.htm>
- Font, M. (s.f.). Química orgánica y farmacéutica. *La espectroscopía de infrarrojo*.
- Gil Hernández, Á. (2010). *Tratado de nutrición: composición y calidad nutritiva de los alimentos*. Médica Panamericana.
- Gómez Priego, G. (2002). *Agroplásticos en México*. México, D.F.
- Grupo Gam. (Agosto de 2010). Recuperado el 29 de Abril de 2013, de Identificación y sistematización de modelos productivos para la generación de empleos e ingresos en regiones de alta y muy alta marginalidad.
- Habib, K. A. (2012). *Universitat Jaume I*. Recuperado el 17 de mayo de 2013, de Propiedades ópticas de los materiales: https://aulavirtual.uji.es/pluginfile.php/1750021/mod_resource/content/1/Propiedades%20%C3%B3pticas%20de%20los%20materiales.pdf
- Hecht, E. (2008). *Óptica*. España: Pearson Educación S.A.
- Hernández Rodríguez, & Sastre Gallego. (1999). *Tratado de nutrición*. Díaz de Santos.
- Hernández, J., Escobar, I., & Castilla, N. (2001). *La radiación solar en invernaderos mediterráneos*.
- IICA-GTZ. (2000). *La importancia del mercado en la investigación agraria para el desarrollo alternativo*. Lima, Perú: IICA.
- Mandado Pérez, E., Murillo Roldan, A., & Quintáns Graña, C. (s.f.). *Marcombo*. Recuperado el 20 de mayo de 2013, de Sensores y acondicionadores: [http://www.marcombo.com/Descargas/9788426715753/SENSORES/TEMAS/SA%20Tema%2005%20Sensores%20optoelectronicos%20\(1\).pdf](http://www.marcombo.com/Descargas/9788426715753/SENSORES/TEMAS/SA%20Tema%2005%20Sensores%20optoelectronicos%20(1).pdf)

- McMahon, M., Valdés, A., Cahill, C., & Jankowska, A. (01 de julio de 2011). *SAGARPA*. Recuperado el 23 de abril de 2013, de Análisis del extensionismo agrícola en México: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/EXTENSIONISMO/ESTUDIO%20OCDE%20EXTENSIONISMO.pdf>
- Miean, K. H., & Mohamed, S. (2000). Flavonoid (myricetin, quercetin, kaempferol, luteolin, and apigenin) content of edible tropical plants. Malaysia.
- Monasterio, P., Barreto, T., Maturet, W., Tablante, J., & Silva, B. (2009). *La radiación como fuente de energía en la agricultura: tres formas de medir la banda*. Yaracuy: INIA.
- Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. (12 de abril de 2012). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado el 23 de abril de 2013, de Incrementar la productividad reto de la agricultura mundial G-20: <http://www.rlc.fao.org/es/paises/mexico/noticias/incrementar-la-productividad-reto-de-la-agricultura-mundial-g-20/>
- Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. (s.f.). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado el 23 de abril de 2013, de Agricultura: <http://www.rlc.fao.org/es/temas/agricultura/>
- Renau-Piqueras, J., & Faura, M. (s.f.). Recuperado el 2013, de Principios básicos del microscopio electrónico de barrido: http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/2183/9313/1/CC-011_art_5.pdf
- Renom, M. (2011). *Física*. Recuperado el 17 de mayo de 2013, de Principios básicos de mediciones atmosféricas: http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/PBMA/PBMA_teotico/Bolilla8-RADIACION.pdf
- Representación FAO. (2009). *Alimentación, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Recuperado el 23 de abril de 2013, de La FAO en México. Más de 60 años de cooperación 1945-2009: http://www.fao.org.mx/documentos/Libro_FAO.pdf

- Roberts, A. J., O'Brien, M. E., & Subak-Sharpe, G. (2003). *Nutricéuticos: suplementos nutricionales, vitaminas, minerales oligoelementos, alimentos curativos*. Robinbook.
- Rodríguez Rivera, V. M. (2008). *Bases de la alimentación humana*. Netbiblo.
- Roquet, M. B. (2012). *Métodos analíticos en geoquímica (DRX-FRX)*.
- Secretaría de Educación Pública. (2012). *Características generales de las hortalizas*.
- Servicios Técnicos de Investigación. (23 de noviembre de 2012). Técnicas de análisis químico de superficies.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal*. Universitat Jaume.
- The Hunger Project México. (s.f.). *The Hunger Project México*. Recuperado el 23 de abril de 2013, de Datos de hambre y pobreza: <http://thp.org.mx/mas-informacion/datos-de-hambre-y-pobreza/>
- Williams, M. H. (2002). *Nutrición para la salud, la condición física y el deporte*. Paidotribo.