

Tecnología apropiada para pequeños agricultores: Evaluación de cámara de enfriamiento con cero energía (ZECC)

Carmen Valeria Pérez Delgado

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras
Octubre, 2014

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA EN AMBIENTE Y DESARROLLO

Tecnología apropiada para pequeños agricultores: Evaluación de cámara de enfriamiento con cero energía (ZECC)

Proyecto Especial de Graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por:

Carmen Valeria Pérez Delgado

Zamorano, Honduras
Octubre, 2014

Tecnología apropiada para pequeños agricultores: Evaluación de cámara de enfriamiento con cero energía (ZECC)

Presentado por:

Carmen Valeria Pérez Delgado

Aprobado:

Arie Sanders, M.Sc.
Asesor Principal

Laura Suazo, Ph.D.
Directora
Departamento de Ambiente y
Desarrollo

Ivanna Vejarano, MAP.
Asesora

Raúl H. Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Lizanne E. Wheeler, Ph.D.
Asesora

Tecnología apropiada para pequeños agricultores: Evaluación de Cámara de Enfriamiento con Cero Energía (ZECC)

Carmen Valeria Pérez

Resumen: Dada la importancia ambiental y social de la cámara de enfriamiento con cero energía (ZECC), podría ser una técnica de almacenamiento eficiente. La mayoría de productos hortícolas se cosechan en etapa precisa de madurez y almacenados dentro de la (ZECC), que tiene una vida útil aproximadamente de 8 a 10 días a temperatura ambiente 25°C. El almacenamiento de papaya, chile y tomate dentro de la ZECC podría ser una técnica práctica en el campo de los agricultores para prolongar la vida de almacenamiento reduciendo la degradación de la calidad y peso. La pérdida fisiológica en peso fue más rápida para los productos mantenidos en ambiente natural, al igual que el cambio en madurez. Los productos perdieron calidad y peso durante el almacenamiento obteniendo diferencias significativas en papaya y chile morrón, a excepción del tomate que no tuvo diferencias en peso. La pérdida de peso en papaya fue de 5%, chile morrón 2% y en tomate no se obtuvo diferencia. En cuanto a calidad visual una pérdida de 31% en papaya, 37% en chile y 21% en tomate. La papaya tuvo un cambio en madurez de 27%, en chile de 33% y en tomate un cambio de 1%. El tratamiento ZECC reduce la pérdida de peso y decaimiento, mantiene la firmeza de los productos y reduce la pérdida de calidad a comparación con ambiente natural.

Palabras claves: Calidad de la fruta, madurez, peso, poscosecha, tiempo de almacenamiento.

Abstract: The Zero Energy Cool Chamber (ZECC) proves to be an important horticulture food storage technology; it shows considerable social and environmental advantages. The horticulture products are harvested and stored inside the ZECC where at an average environment temperature (25°C) may have and 8 to 10 day storage life. Using this technology as a field technique for papaya, chili pepper and tomato xp producers may prolong the products life span while reducing the loss of quality and weight. Products that were stored in ZECC displayed a more rapid weight loss and ripening. When comparing, a significant difference was presented in terms of quality and weight loss with papaya and chili pepper. Papaya had a 5% weight loss, chili pepper a 2 % loss, while the tomato presented no significant difference. In terms of produce visual quality papaya displayed a 31% loss, chili peppers a 37% and tomato a 21% loss. In terms of ripening papaya showed a change of 27%, 33% in chili pepper and a 1% in tomato. The ZECC technology reduces horticulture products weight and quality loss and helps prolong these in comparison to outdoors conventional storage.

Keywords: Fruit quality, maturity, weight, postharvest, storage time.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de cuadros y figuras	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
4 CONCLUSIONES	17
5 RECOMENDACIONES	18
6 LITERATURA CITADA.....	19

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Distribución de canastas y dispositivos en ZECC y ambiente	4
2. Peso inicial en libras promedio por canasta de los cultivos	4
3. Valoración de la calidad visual general de los productos.....	5
4. Escala de clasificación de madurez para la papaya	5
5. Escala de clasificación de madurez para el chile morrón.....	6
6. Escala de clasificación de madurez para el tomate	6
7. Las condiciones iniciales y finales de los productos en ZECC	9
8. Las condiciones iniciales y finales de los productos en Ambiente	12
9. Análisis comparativo ZECC y Ambiente de temperatura y humedad	15

Figuras	Página
1. Apreciación visual por calidad inicial y final en ZECC.....	10
2. Apreciación visual por calidad de chile morrón en ZECC.....	10
3. Aspecto visual en madurez de papaya al inicio y final en ZECC	11
4. Aspecto visual en madurez de chile al inicio y final en ZECC	11
5. Apreciación visual de calidad en papaya maradol bajo Ambiente.....	12
6. Apreciación visual de calidad en chile morrón bajo Ambiente.....	13
7. Aspecto visual en madurez de papaya al inicio y final en Ambiente	13
8. Aspecto visual en madurez de chile al inicio y final en Ambiente	14
9. Comparación de inicio y final entre ZECC y Ambiente natural	14
10. Relación lineal entre temperatura y humedad relativa en ZECC.	15
11. Relación lineal entre temperatura y humedad relativa en Ambiente.....	16

1. INTRODUCCIÓN

La refrigeración es uno de los pasos más importantes en la cadena de manejo poscosecha de las hortalizas. La reducción de la temperatura de los productos después de la cosecha puede reducir en gran medida la respiración de las hortalizas, extender su vida útil, y proteger la calidad. De igual manera, se reducen las pérdidas de volumen al disminuir las tasas de pérdida de agua y la decadencia. La primera etapa de enfriamiento de la cámara se refiere generalmente como "pre-refrigeración", ya que se transporta el producto una vez cosechado y antes de que los cultivos se coloquen en el almacenamiento en frío o sea cargados en camiones refrigerados o contenedores marinos.

Hay estudios que estiman que la pérdida por mal manejo en la poscosecha es entre el 30-50% (FAO s.f.). Las pérdidas se deben a la falta de técnicas poscosecha así como la falta de instalaciones de transformación y comercialización adecuadas. Estas pérdidas reducen los ingresos de los agricultores, debido a que estos productos no llenan los estándares de calidad para la venta en los supermercados. Asimismo, los precios de los cultivos hortícolas en temporada alta fluctúan considerablemente y durante el período de máxima disponibilidad los precios no son atractivos para el productor.

En la actualidad existe una gran brecha entre la producción bruta y la disponibilidad neta de productos hortícolas debido a las pérdidas poscosecha que se genera. Los pequeños productores enfrentan mayormente este problema por falta de tecnología adecuada. La atención a la reducción de pérdidas de alimentos poscosecha es un punto importante para aumentar los ingresos de los productores de pequeña escala. No obstante, es difícil reducir las pérdidas poscosecha por completo. El costo de inversión para disminuir las pérdidas sería demasiado alto y difícilmente justificable económicamente. En este sentido se debe aceptar un valor de pérdida para los productos y evaluar la relación beneficio costo para reducir la pérdida (Aular 2013).

Las causas biológicas, microbiológicas, químicas y físicas que contribuyen con la pérdida poscosecha de productos hortícolas se han identificado y estudiado ampliamente (FAO 2012). Se han desarrollado técnicas para aminorar el deterioro de los productos como son la conservación de frutos enteros, en rodajas y puré mediante factores de conservación combinada (Alzamora *et al.* 2004). Sin embargo, su implementación no ha sido siempre exitosa en los países en desarrollo. Los aspectos socioeconómicos como un inadecuado sistema de comercialización, la carencia de facilidades de transporte y deficiencia en las regulaciones gubernamentales, han frenado la producción de productos hortícolas ya que las pérdidas son considerables (Aular 2013).

En las zonas rurales los productores de escasos recursos carecen de la capacidad para adquirir y manejar tecnologías avanzadas que les ayuden a disminuir las pérdidas poscosecha. Estas tecnologías son costosas, los productores no cuentan con energía eléctrica o tienen dificultades al momento de almacenar el producto. Por esta razón se buscan nuevas alternativas efectivas y accesibles que permita mantener la calidad y prolongar la vida de anaquel del producto. De esta manera, los productores tienen más opciones para ser competitivos, mejorar sus ingresos y por ende, su nivel de vida.

La Cámara de Enfriamiento con Cero Energía (ZECC, por sus siglas en inglés) es una tecnología orientada a las zonas rurales que opera sobre el principio de refrigeración por evaporación. Esta tecnología, desarrollada en el Instituto de Investigación Agrícola de la India (IARI) posee varias ventajas: la tecnología es de bajo costo debido a que se usan materiales locales y no requiere energía eléctrica para su funcionamiento. La cámara posee una estructura de doble pared formada por ladrillos, la cavidad entre la doble pared de ladrillos posee un relleno de arena (Roy y Pal 1991). Este diseño y los materiales utilizados aumentan la humedad relativa y mantienen la baja temperatura dentro de la cámara. Los resultados de los estudios hechos para medir la eficiencia de esta cámara han sido positivos e indican que la tecnología tiene un gran potencial en la agricultura de pequeña escala. (Singh *et al* 2010) muestra que el efecto del ZECC en varias frutas y verduras tiene grandes beneficios y atributos en la prolongación de la vida útil y la calidad de la fruta, concluyendo que esta tecnología para el almacenamiento de frutas, contribuye significativamente a la vida de poscosecha.

Basada en la experiencia de India, el objetivo de este estudio fue evaluar la tecnología ZECC bajo las condiciones agroclimáticas (temperatura y humedad) de Zamorano. A través de un análisis comparativo entre el desempeño de la cámara de enfriamiento versus el almacenamiento en las condiciones del ambiente se evaluó el inicio y final de calidad, madurez y la pérdida de peso de tres cultivos: papaya (*Carica papaya*), Chile morrón (*Capsicum annuum*) y tomate pera (*Lycopersicon esculentum*) de 7 a 10 días, bajo las condiciones de Zamorano.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Estructura de la ZECC. La cámara ZECC fue construida en la zona de Monte Redondo del campus de Zamorano. Las dimensiones de la cámara (largo \times ancho \times alto) de las paredes de ladrillo exterior fueron $105 \times 90 \times 50$ cm, mientras que las paredes interiores fueron de $80 \times 70 \times 50$ cm. Se dejó un espacio de 7 cm entre la pared exterior e interior la cual fue cubierta por arena para lograr un efecto pasivo de enfriado por el sistema de evaporación. Para proteger la cámara contra los efectos climatológicos (sol y lluvia) se construyó un techo de 4×3 metros encima de la misma.

Adicionalmente, se instaló un sistema de riego por goteo a baja presión alimentado por un reservorio de agua. El sistema de riego fue utilizado dos veces al día, regando 150 litros en la mañana (7:00 am) y 150 litros en la tarde (12:30 pm). Para mantener la cámara saturada de agua antes y durante todo el ensayo, se humedeció un día antes de comenzar el ensayo, esto para que al momento de introducir el producto ya tenga una temperatura constante y no influya en el funcionamiento.

Diseño del experimento. Para este ensayo se seleccionaron un total de tres cultivos. Estos cultivos fueron escogidos por su disponibilidad, calidad visual, madurez y uniformidad tanto en el color como en el tamaño.

Los tres productos seleccionados tuvieron que cumplir con ciertos estándares en cuanto al peso, la calidad visual y madurez. Aunque no siempre es posible esto, ya que dependió mucho del precio y disponibilidad, también con el fin de reducir la manipulación, daños por transporte (corte, golpe, aplastamiento, hongos) y que el experimento se realizase de la manera más cercana a lo que podría hacer un productor que fuera a utilizar esta tecnología.

Para que el ensayo fuese más similar a la realidad del campo, se utilizó canastas plásticas que de gran durabilidad ($55.5 \times 38 \times 32$ cm) que son utilizadas ampliamente en el sector de hortalizas en Honduras. Las canastas fueron colocadas en el tratamiento de ambiente natural y en la cámara, cada una con una ubicación asignada al igual que “data logger” dejando en los dos tratamientos dispositivos que midiesen temperatura y humedad relativa (Cuadro 1).

Cuadro 1. Distribución de canastas y dispositivos en ZECC y ambiente natural

Canastas	Dispositivos
A1/B1	Data logger: Temperatura y Humedad relativa (T/HR)
A2/B2	Sin dispositivo
A3/B3	Sin dispositivo
A4/B4	Temperatura (T/T), Canal 1
A5/B5	Temperatura (T/T), Canal 2
A6/B6	Sin dispositivo

Temperatura y Humedad relativa. La temperatura al igual que la humedad relativa son de gran importancia para mantener la calidad de los cultivos. Por consiguiente se midieron ambos datos para analizar su comportamiento en la cámara y el ambiente. Se pusieron dispositivos electrónicos con la capacidad de almacenamiento de datos en tiempo real. Este “data logger” cuenta con un software (HOBOWare Pro ®) que permite estimar la exactitud y homogeneidad de los datos.

Variables evaluadas. Para este ensayo se realizaron cinco tipos de mediciones: pérdida de peso, calidad visual, madurez, temperatura y humedad relativa.

Se midió el cambio de peso que experimentaron los productos durante el tiempo de toma de datos. Se utilizó una báscula análoga (moresco) de colgar. La pérdida de peso se reportó en libras comparando el peso inicial con el peso final. En el siguiente cuadro se presenta el peso inicial de los cultivos del ensayo (Cuadro 2)

Cuadro 2. Peso inicial en libras promedio por canasta de los cultivos

Cultivos	Promedio por canasta (lbs.)	Total (lbs.)
Papaya	18	432
Chile morrón	16	384
Tomate	24	864

Se clasificó el producto de cada una de las canastas de acuerdo a la escala de calificación de calidad visual, utilizando una escala estándar de Likert de 1-9, siendo 9 excelente y 1 muy mala. Al iniciar el ensayo la calidad visual de los productos fue 7 en papaya, 9 en chile y 7 en tomate, siendo una calidad buena y excelente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valoración de la calidad visual general de los productos

Estado	Calidad visual general para productos poscosecha
9	Excelentes, esencialmente no hay síntomas de deterioro
7	Buenas, síntomas leves de deterioro, no inaceptable
5	Justo, el deterioro evidente, pero no grave, límite de la posibilidad de venta (comercialización)
3	Mala, deterioro grave, límite de capacidad de utilización
1	Extremadamente mala, no se puede utilizar

Fuente: Kader (2010).

Para evaluar la madurez general, se utilizaron las tablas de madurez del Postharvest Technology Center de la Universidad de California en Davis. La escala de madurez tiene diferentes criterios según el producto: al iniciar el ensayo la madurez fue categoría 3 = rayas de color naranja en la piel en papaya. La clasificación del estado de color para la papaya maradol, siendo G el color de piel verde sin franjas amarilla y 6 el color de la fruta similar a la piel característica de color naranja, pero más intensa. Al iniciar el ensayo la madurez fue categoría de 3 = rayas de color naranja en la piel en la papaya (Cuadro 4).

Cuadro 4. Escala de clasificación de madurez para la papaya

Estado	Color del fruto
G	Piel verde sin franja amarilla
1	Piel verde con bandas de luz amarilla
2	Piel verde con franja amarilla bien definidas
3	Una raya o más de color naranja en la piel
4	Piel clara de color naranja, con algunas zonas de color verde claro
5	Piel característico color naranja de la papaya maradol
6	Color de la fruta similar a la etapa 5, pero más intenso

Fuente: Kader (2010).

En el Cuadro 5 se presenta la clasificación en color para el chile morrón, siendo 1 de color verde oscuro y 5 totalmente rojo. Esta escala sirve también para medir la madurez del chile jalapeño. Al iniciar el ensayo el chile morrón presento una madurez de categoría 1 = color verde oscuro en chile.

Cuadro 5. Escala de clasificación de madurez para el chile morrón

Estado	Color del fruto
1	Color verde oscuro
2	Verde claro
3	Naranja-amarillo
4	Naranja-rojo
5	Totalmente rojo

Fuente: Cantwell (2010).

En el Cuadro 6 se presenta la clasificación de madurez para el tomate pera, siendo 1 color verde maduro: la superficie total del fruto es verde, variando el todo de verde según el cultivar y 6 de color rojo: más del 90% de color rojo. Al iniciar el ensayo en tomate se obtuvo categoría 5= color rojo claro y categoría 4 = color rosa.

Cuadro 6. Escala de clasificación de madurez para el tomate

Estado	Color del fruto
1	Verde Maduro: la superficie total del fruto es verde, variando el tono de verde según el cultivar
2	Rompiendo: aparición de otro color, además del verde de fondo, en no más del 10% de la superficie del fruto
3	Pintón: entre un 10 a 30% de la superficie del fruto, presenta color amarillo pálido, rosado, rojo o una combinación de ambos
4	Rosado: entre un 30 a 60% de la superficie, mostrando color rosado o rojo
5	Rojo claro: entre un 60 a 90% de la superficie de color rojo
6	Rojo: más del 90% de color rojo

Fuente: Kader (2010).

Los cultivos fueron evaluados en épocas diferentes. La papaya y chile en época de lluvia y el tomate en época seca. El ensayo se realizó por 24 días la papaya, por 20 días el chile y el tomate por 24 días.

Al finalizar cada réplica las canastas fueron retiradas para tomar datos del ZECC y de Ambiente natural esto con el objetivo de disminuir el margen de error realizando la toma de datos en un lugar sombreado y en el menor tiempo posible.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño experimental totalmente al azar, con variables independientes y variables relacionadas. Dos tratamientos La cámara de enfriamiento con cero energía (ZECC) y Ambiente natural, con tres repeticiones para papaya y tomate y dos repeticiones para chile morrón, dando un total de 8 unidades experimentales. De cada unidad experimental se evaluaron cinco variables en los dos tratamientos (peso, calidad visual, madurez, temperatura y humedad relativa). Con los datos recopilados se realizó un

análisis de variables cuantitativas, es importante mencionar que el análisis no paramétrico que se evaluó también pudo ser utilizado para la predicción de variables cualitativas.

Análisis estadístico. Se empleó el análisis no paramétrico con la prueba de tipo Wilcoxon de las diferencias para dos muestras relacionadas (inicio y final). También se realizó la comparación con la prueba de tipo U de Mann-Whitney para dos muestras independientes (ZECC y Ambiente natural) evaluando el comportamiento y la diferencia de los tres cultivos (papaya, chile morrón y tomate). Con un nivel de significancia $\alpha=0.01$ y $\alpha=0.05$ todo lo mencionado anteriormente se realizó en el programa “Statistical Package for the Social Sciences” (IBM SPSS).

Selección de los cultivos. Los tres cultivos antes mencionados, se seleccionaron tomando en cuenta diversas características físicas, que se detallan a continuación:

La papaya (*Carica papaya*) de variedad maradol es originaria de las zonas tropicales de México y Centro América. La papaya se consume como fruta fresca por su excelente sabor y textura, además contiene un alto contenido nutritivo. El contenido de vitaminas, minerales y proteínas, hacen sobresalir esta fruta por poseer características medicinales, principalmente en el tratamiento de enfermedades gástricas. Además puede suministrar vitamina C y vitaminas como el complejo B (B1, B6 y B12) (Arango *et al* 2007).

La papaya es una planta herbácea de crecimiento relativamente rápido. El fruto tiene una gran diversidad de formas redondas, elípticas o en forma de pera. Existen frutas alargadas con un peso de 1.5 a 2.6 kg. La fruta presenta un intenso color interior rojo-salmón que la hace muy apreciable, tiene un sabor exquisito y la consistencia agradable de su pulpa con una concentración de 12% grados brix. Su Tamaño varía según su variedad y el tipo de flor de que se trata, esta fruta se puede cultivar desde el nivel del mar hasta 1000 msnm, a una temperatura entre 22° y 30° C y una humedad de 85% (OIRSA 2003).

La papaya maradol es susceptible al impacto de los factores externos durante el manejo de cosecha y poscosecha a causa de su frágil y delgada dermis (De la Cruz *et al* 2007). Las pérdidas poscosecha oscilan entre 18 a 30% (Días 2003). Se presentan también daños causados por virus de la mancha anular de la papaya y la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*); ésta última es la enfermedad poscosecha responsable de las mayores pérdidas de calidad (Páez y Robledo 2003).

El chile (*Capsicum annum*) de variedad Aristóteles es originario de América Tropical (probablemente la parte norte de Latinoamérica). En México se domesticó su cultivo. Se cultiva en muchos climas tropicales y templados (FAO 2006). Se puede cultivar desde el nivel del mar, hasta los 2,500 msnm (Bravo 2010).

El fruto está presente en el mercado hortofrutícola en numerosas variedades, algunas de las cuales de gusto más dulce y otras de gusto más picante. Tiene diferentes formas cónicas, alargadas y cuadradas. El fruto o baya puede tener una postura erguida o péndula

según sus variedades, es vacío al interior y semicartilaginoso, de color verde al principio, y cuando está maduro varía entre el rojo y amarillo. En la cavidad del chile hay semillas en la base del pedúnculo y pegadas a un soporte blanquecino donde algunas variedades parten filamentos (placenta) que recorre todo el chile morrón (ZIPMEC 2013).

El fruto del chile morrón es una hortaliza de la familia Solanácea que se consume fresca como condimento, encurtido, asado, cocinado, seco o en conserva, además contiene un elevado valor nutritivo, principalmente vitaminas A, C y E, como también una alta cantidad de antioxidantes (componentes que previenen cáncer o cataratas) (Fernández s.f). El chile morrón se puede cultivar a una temperatura media anual de 13 a 24 °C y la humedad relativa entre 50 a 70%, este cultivo se da mejor en una temperatura de 21 a 26°C y necesita de una precipitación de 1000 mm (Jiménez 2007).

El tomate (*Lycopersicon esculentum*) de variedad Xp es originario de América del sur, de la región andina, particularmente de Perú, Ecuador, Bolivia y Chile. En México fue domesticada. Se puede cultivar a una temperaturas entre 13 a 23°C, a una humedad relativa entre 60 a 80% (SFA 2010). El fruto es una baya ovalada, redonda o periforme. Su tamaño va desde pequeños frutos hasta frutos enorme de 750 gramos. Es de color verde lima, rosa, amarillo, dorado, naranja y rojo.

El consumo de esta hortaliza es muy importante para la dieta humana, ya que es un alimento muy variable, ya que tiene distintas formas de consumo. Este producto está estrechamente relacionado con beneficios saludables, ya que es capaz de disminuir el riesgo a enfermedades, diferentes tipos de cáncer, atribuido a su alto contenido de antioxidantes (licopeno, ácido ascórbico y compuestos fenólicos) y vitamina C (Bugianesi *et al* 2004).

El tomate es altamente susceptible a ser atacado por microorganismos (bacterias y hongos), los cuales causan el deterioro y disminuye su calidad, especialmente después de su cosecha tiene una vida útil limitada, ya que pierde agua y no tiene los nutrientes necesarios para continuar son sus funciones, dando lugar a una infinidad de enfermedades como es la pudrición ácida, pudrición de moho negro, moho gris, entre otros. Existen diferentes técnicas para su almacenamiento fresco, las cuales pueden aumentar su vida útil, manteniendo sus características sensoriales, siendo una de ellas la refrigeración (Siripatrawan 2009).

Zona de estudio. El estudio se realizó en Zamorano, ubicado en el Valle del Yeguaré, 32 km al este de Tegucigalpa, Honduras. A 14° latitud norte y 82° 2' longitud oeste, con una temperatura media anual de 24°C y una precipitación anual de 1100 mm, a una altitud de 800 msnm. El ZECC se construyó en El Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas en la zona de Monte Redondo en Zamorano.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comparación del inicio y final de los tratamientos. En el Cuadro 7 se presentan los resultados comparativos en cuanto a la situación inicial y final del estado de los tres productos. Con la excepción del peso del tomate, todas las mediciones de los tres productos presentan una diferencia significativa menor al 1%.

Cuadro 7. Las condiciones iniciales y finales de los productos en ZECC

Producto	Variable	Inicial	Final	Diferencia en %	Sig.
Papaya	Peso (lbs.)	18	17	5.0	**
	Calidad	100	69	31.0	**
	Madurez	100	73	27.0	**
Chile morrón	Peso (lbs.)	16	14	2.0	**
	Calidad	100	63	37.0	**
	Madurez	100	67	33.0	**
Tomate	Peso (lbs.)	24	24	1.1	
	Calidad	100	79	21.0	**
	Madurez	100	99	1.0	**

Significancia: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

La papaya perdió 5% de peso al salir del tratamiento. La temperatura adecuada de almacenamiento esta entre 4.5 a 7°C, mucho menor a la temperatura que se puede lograr en la ZECC. En términos relativos, la papaya fue la que más peso perdió 2%. El chile morrón es muy sensible a la pérdida de agua, Para reducir esta pérdida, los chiles se deben enfriar lo más rápido posible. Los chiles almacenados a temperaturas mayores a 7.5°C, pierden más agua y se arrugan fácilmente. El tomate fue que menos peso perdió 1.1% debido a que el producto estaba algo maduro y ha sido bien tratado después de la cosecha.

La pérdida visual fue causada por la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*), una enfermedad poscosecha responsable de las mayores pérdidas de calidad en el papaya, esto también fue observado en un estudio de (Páez y Robledo 2003). La calidad visual de la papaya nos indica que tiene una diferencia de 31% de pérdida de calidad al salir del tratamiento. Esta pérdida se encuentra entre la calidad mala 8 frutos y muy mala 5 frutos (Figura 1)



Figura 1. Apreciación visual por calidad inicial y final en ZECC

El chile morrón registró la mayor pérdida visual 37%, ésta pérdida se explica por la reducción del peso de agua. Los tomates se mantuvieron estables y la pérdida de calidad fue el 21%. La calidad visual estuvo distribuida desde muy mala 83 frutos, mala 121 frutos, regular 162 frutos, buenos 385 frutos, excelente 146 frutos, predominando la calidad buena (Figura 2)



Figura 2. Apreciación visual por calidad de chile morrón en ZECC

En madurez todos los productos presentaron diferencias significativas. La papaya sufrió un cambio notable, de color verde con una raya o más de color naranja en la piel al iniciar el tratamiento, pasó a una etapa de color anaranjado, similar a la etapa 5 de piel

característico color naranja, pero más intenso. La madurez final tuvo 13 frutos con una calidad de piel característico color naranja y 73 frutas de color anaranjado, similar a la etapa 5, pero más intenso. Cada fruto presentó uno o más síntomas innegables cuando ha alcanzado la madurez (Figura 3).



Figura 3. Aspecto visual en madurez de papaya maradol al inicio y final en ZECC

El chile morrón cambió de un color verde oscuro a un color final verde claro. El cambio de color es uno de los síntomas externos más evidente de la maduración, esto se debe a la degradación de la clorofila y a la síntesis de los pigmentos específicos del chile. Como regla general, cuanto más avanzada es la madurez menor es la vida poscosecha. El cambio que sufrió el tomate fue de color rosa y rojo claro, a un color rojo. El tomate por ser un producto climatérico tiende a cambiar de color rápidamente, en este caso el color rojo intenso predominó cosechado aun cuando el color verde fue predominante (Figura 4).



Figura 4. Aspecto visual en madurez de chile morrón al inicio y final en ZECC

En el Cuadro 8 se presentan los resultados comparativos en cuanto a la situación inicial y final del estado de los tres productos. A excepción del peso en tomate a Ambiente natural, todas las mediciones de los tres productos presentaron una diferencia significativa menor al 5%.

Cuadro 8. Las condiciones iniciales y finales de los productos en Ambiente natural

Producto	Variable	Inicial	Final	Diferencia en %	Sig.
Papaya	Peso (lbs.)	18	17	8.0	**
	Calidad	100	66	34.0	**
	Madurez	100	73	27.0	**
Chile morrón	Peso (lbs.)	16	14	2.0	**
	Calidad	100	44	56.0	**
	Madurez	100	89	11.0	**
Tomate	Peso (lbs.)	24	24	1.4	
	Calidad	100	67	33.0	**
	Madurez	100	98	2.0	**

Significancia: *p<0.05; ** p<0.01.

La papaya perdió 8% de peso al salir del tratamiento. La temperatura adecuada de almacenamiento esta entre 4.5 a 7°C, mucho menor a la temperatura en ambiente. En términos relativos, la papaya fue la que más peso perdió 8%. El chile morrón es muy sensible a la pérdida de agua. El tomate fue que menos peso perdió 1.4% debido a que el producto estaba algo maduro y ha sido bien tratado después de la cosecha. La pérdida de peso en el tomate se da normalmente por las compresiones o los golpes y temperaturas mayores de 8 a 10°C (Bugianesi 2004).

La calidad visual de la papaya nos indica que tiene una diferencia de 34% de pérdida de calidad al salir del tratamiento. Esta pérdida se encuentra entre calidad mala 6 frutos y muy mala 8 frutos (Figura 5).



Figura 5. Apreciación visual de calidad en papaya maradol bajo Ambiente

El chile morrón registró la mayor pérdida de calidad visual 56%, esta pérdida se explica por la reducción del peso de agua. Los tomates se mantuvieron estables y la pérdida de calidad fue el 33%. La calidad visual estuvo distribuida desde muy mala 58 frutos, mala 244 frutos, regular 392 frutos, buenos 187 frutos, excelente 15 frutos, predominando la calidad buena (Figura 6).



Figura 6. Apreciación visual de calidad en chile morrón bajo Ambiente

En madurez todos los productos presentaron diferencias significativas. La papaya sufrió un cambio notable, de color verde con una raya o más de color naranja en la piel al iniciar el tratamiento, pasó a una etapa de color anaranjado, similar a la etapa 5 de piel característico color naranja, pero más intenso. La madurez final tuvo una calidad de piel característico color naranja y color anaranjado, similar a la etapa 5, pero más intenso. Cada fruto presentó uno o más síntomas innegables cuando alcanzó la madurez (Figura 7).



Figura 7. Aspecto visual en madurez de papaya maradol al inicio y final en Ambiente

El chile morrón cambió de un color verde oscuro a un color final verde claro. El cambio de color se debe a la degradación de la clorofila que tiene el chile. El cambio que sufrió el tomate fue de color rosa y rojo claro, a un color rojo. Los frutos de tomate por ser climatéricos alcanzaron el color rojo intenso (Figura 8).



Ambiente natural: día 1

Ambiente natural: día 10

Figura 8. Aspecto visual en madurez de chile morrón al inicio y final en Ambiente

La ZECC presenta menos pérdida de peso a diferencia del Ambiente natural, a excepción del tomate que no hubo diferencia significativa. En cuanto a calidad la diferencia es muy notable como es en el caso de chile morrón en ZECC es de 37% y en Ambiente es de 56% la pérdida. En madurez el cambio de color se observó en los dos tratamientos. En papaya se obtuvo 27%, en chile morrón fue entre 11 y 33% y en el tomate una diferencia entre 1 y 2% (Figura 9).

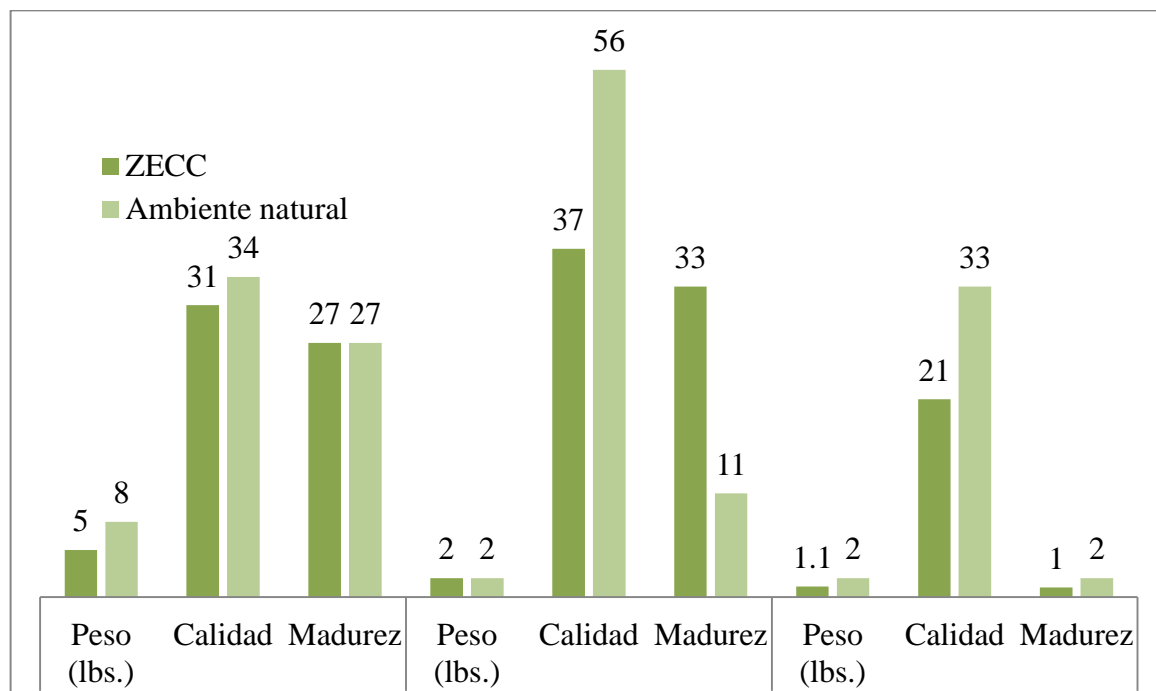


Figura 9. Comparación de inicio y final entre ZECC y Ambiente natural

Comparación de los dos tratamientos ZECC y Ambiente natural. La temperatura y la humedad son unos de los dos factores más importantes para mantener la calidad de los productos frescos en la fase poscosecha. En el Cuadro 9 se presenta la temperatura y humedad relativa en la cámara ZECC y de Ambiente natural.

Cuadro 9. Análisis comparativo ZECC y Ambiente natural de temperatura y humedad

Variables	Tratamientos		Sig.
	ZECC	Ambiente natural	
Temperatura	23.01	26.26	**
Humedad	87.70	57.86	**

Significancia: *p<0.05; ** p<0.01.

La temperatura en ZECC fue de 23°C, mientras que en ambiente de natural se registró un promedio de 26.3°C. La diferencia de 3.3°C resulta ser significativo. La humedad relativa en ZECC fue en promedio 87.7%, en valor muy encima de la humedad relativa en el ambiente natural 57.9%. Esta diferencia se explica principalmente por el tipo de construcción de la ZECC. La ZECC está herméticamente cerrada para mantener la temperatura baja, al mismo tiempo no permite la circulación del aire para reducir la humedad relativa.

Relación entre la temperatura y humedad relativa en ambos tratamientos. La temperatura mínima diario fue 20.67 y 28.26°C como máxima al igual que la humedad relativa mínima es de 57.85 y 98.21% como máxima.

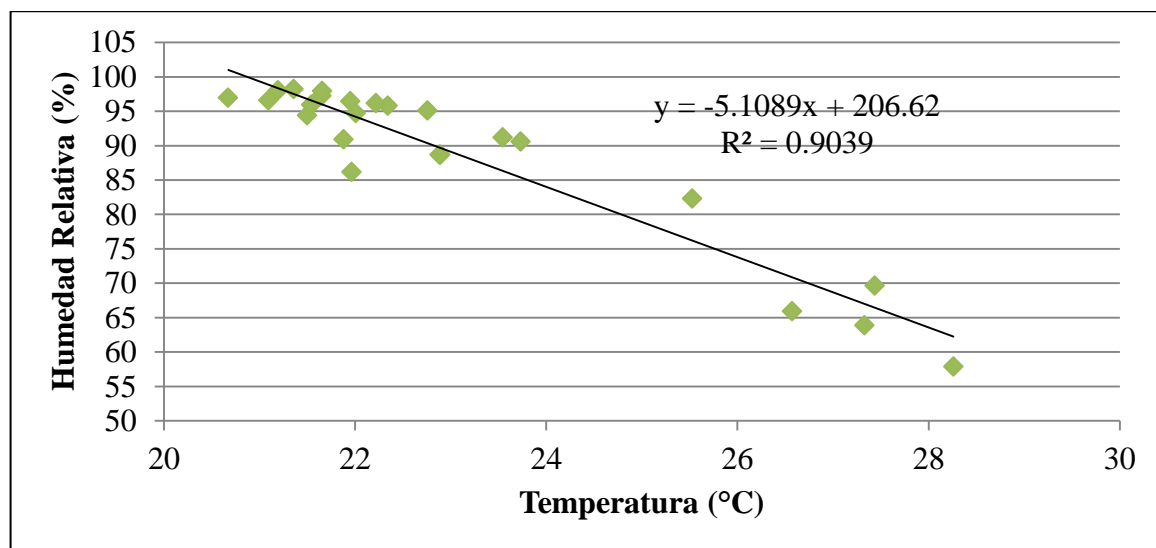


Figura 10. Relación lineal entre temperatura y humedad relativa en ZECC

A partir de este experimento se puede ver que ZECC bajo el sistema por evaporación se puede reducir la temperatura y aumentar la humedad relativa, las cuales tienen una relación inversamente proporcional es decir a medida que la temperatura baja un grado, la humedad relativa va a aumentar en un 5% (Figura 10).

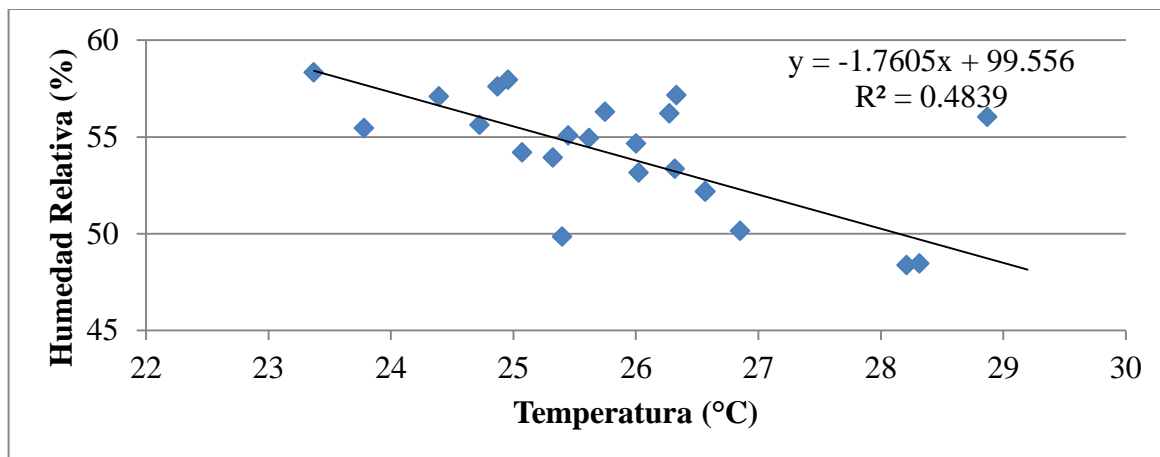


Figura 11. Relación lineal entre temperatura y humedad relativa en Ambiente

La temperatura mínima diaria fue 23.37 y 29.20 °C como máxima al igual que la humedad relativa mínima fue de 42.27 y 57.59% como máxima. A partir de este experimento se pudo ver que dentro del Ambiente natural la temperatura y la humedad relativa tienen una relación inversamente proporcional es decir a medida que la temperatura baja un grado, la humedad relativa aumenta en 1% (Figura 11).

4. CONCLUSIONES

- Los cambios físicos durante el almacenamiento de los cultivos: papaya, chile morrón y tomate, se ven influenciados por la temperatura y el tiempo de almacenamiento.
- La temperatura y humedad relativa en la ZECC fue de 3°C y 30% .menor que en el Ambiente natural.
- A pesar que la temperatura bajó solamente con 3°C en la cámara ZECC, los resultados han sido satisfactorios.
- Los resultados de los productos en la cámara ZECC bajan en peso, madurez y calidad. Esta reducción es menor que en el ambiente natural.
- La cámara podría ser una tecnología alternativa en el contexto del corredor seco de Honduras para la pequeña producción de horticultura.
- Las ZECC puede contribuir al desarrollo del sector productivo por su eficiencia, a la vez puede mejorar el nivel de vida de los productores involucrados.

5. RECOMENDACIONES

- Utilizar la cámara ZECC en época seca para que sea más eficiente y evite alteraciones de deterioro rápido en los productos y que el tiempo de almacenamiento sea más largo.
- Antes de la introducción de esta tecnología es importante hacer pruebas *in situ* para evaluar su desempeño en un contexto real (agro-ecológico, social y económico).
- Realizar un estudio de factibilidad económica en diferentes escenarios productivos (cultivos).
- Es conveniente la existencia de una casa encima de la estructura, para que los rayos de luz no peguen directo a la cámara y proteger a los productos de la lluvia. La puerta de la estructura debe ser totalmente cerrada para evitar la contaminación del producto o ataques de roedores, moscas y pájaros.
- Es conveniente que los productos sean del mismo tamaño y que tengan el mismo peso, para que no haya influencia en los resultados finales, ya que en la papaya se observó que las frutas más grandes sufrían un deterioro más rápido que las pequeñas.
- Realizar un estudio con otros cultivos de interés económico y cultural de la Región Mesoamericana.

6. LITERATURA CITADA

- Páez, A. 2003. Tecnología sostenible para el manejo de la actracnosis en papaya y mango. Turipaná, Colombia. 16 p.
- Aqualife. 2012. La importancia de la humedad en la conservación. Frío, maduración y atmósfera controlada. Poscosecha: Frutas, hortalizas y Ornamentales. Barcelona, España. 10 p.
- Arango, L. R. 2007. Cultivo de la papaya en los Llanos Orientales de Colombia Agronet. Manual de asistencia técnica No.4. Colombia. 16 p.
- Aular J. E. 2013. Estimación de las pérdidas poscosecha de fruta. La revista de riego, 22 p.
- Bugianesi, R. 2004. Effect of domestic cooking on human bioavilability of naringenin, chlorogenic acid, lycopene and B-carotene in cherry tomatoes. European Journal of Nutrition (43):360-366.
- BBS. 2011. Yearbook of Agricultural Statistics of Bangladesh. Statistics and Informatics Division, Ministry of Planning, Government of the People's Republic of Bangladesh, 231-330.
- De la Cruz, J., Medina P. R. 2007. Estudio del efecto de la maduración acelerada y la refrigeración sobre la fisiología de la papaya maradol (Carica Papaya L). V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones, S2-P37. 197-206.
- FAO. 2012. Pérdidas y desperdicios de alimentos en el mundo - Alcances, causas y prevención. Save food. Estudio realizado para el congreso internacional. Roma. 68 p.
- FAO. s.f. Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas. Almacenamiento de frutas y hortalizas frescas. Departamento de agricultura. N° 6 de la Serie Tecnología Poscosecha. Almacenamiento de frutas y hortalizas frescas. 87 p.
- Ferratto, J. 2008. Producción, consumo y comercialización de hortalizas en el mundo. Revista Agromensajes, Facultad de Ciencia Agrarias, Universidad Nacional de Rosario., 24 de abril. Rev. Alejandro Longo, Inés Teresa Firpo. ISSN: 16698584.

- Ferratto, I. A. 2004. Importancia de la gestión de la calidad en frutas y hortalizas: Situación y perspectivas. *Revista Agromensajes de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario*.
- Ganesan, M., K. Balasubramanian, R.V. Bhavani. 2004. Effect of water on the shelf-life of brinjal in zero-energy cool chamber. *Journal of Indian Institute of Science*, 84(3-4): 101-111.
- Islam, M. P, T. Morimoto, K. Hatou, L. Hassan, Awal, M. A. Hossain, 2013. Case study about field trial responses of the zero energy storage system. 15(113). 6 p.
- Islam, M.P, T. M. 2012. Storage behavior of tomato inside a zero energy cool chamber. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, december, 14(4): 209-217.
- Islam, M. P., T. Morimoto. 2012. Zero energy cool chamber for extending the shelf-life of tomato and eggplant. *Japan Agriculture Research Quarterly*, 46(3): 257-267.
- Islam, M.P., T. Morimoto, K. Hatou. 2013. Dynamiz optimization of Zero Energy Cool Chamber for storing fruits and vegetables using neural networks and genetic algorithms. *Computers and electronics in Agriculture*. 95(98-107).
- Kader, A., M. Cantwell. 2010. Produce Quality Rating Scales And Color Charts. *Postharvest Technology Center University of California, Davis*. 23:(2). 151 p.
- Rajeswari, D. M. C. Nautiyal, S. K. Sharma. 2011. Effect of pedicel retention and zero energy cool chamber on storage behavior of Malta fruits. *International Journal of Agricultural Science*, 3(2): 78-81.
- Roy, S. K., Pal, R. K. 1991. A low cost Zero energy cool chamber for short term storage of mango. *Acta Horticulture*, 291(1): 519-524.
- Robledo, L. 2003. Caracterización del sistema de producción de papaya en la región Caribe colombiana. En Páez, A. *Memorias, seminarios participativos. Agronomía y manejo de la producción y poscosecha en papaya*. Valledupar, Colombia.
- Ruelas, C., M. Xochitl. 2013. Conservación de Frutas y Hortalizas Frescas y Mínimamente Procesadas con Recubrimientos Comestibles. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5 (9): 31-37.
- Sanjay S., A. Singh. 2010. Effect of zero energy cool chamber and post-harvest treatments on shelf-life of fruits under semi-arid environment of Western India. Part 1. Ber fruits. *Association of Food Scientists and Technologists*, July–August, India 47(4):446–449.
- Santapathy, K., S. Roy 2006. Performance Evaluation of Zero Energy Cool Chamber in Hilly Region. *Indian Journals, Agricultural Engineering Today*, 30: (5-6). 47-56.

- SFA. 2010. Monografía de cultivos. Jitomate. Obtenido de Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios (SFA). 10 p.
- Siripatrawan, U., K. A. (2009). Methyl jasmonate coupled with modified atmosphere packing to extend shelf life tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill), during cold storage. Institute of Food Science and Technology, (44):1065-1071.
- Singh, R. K., K. Satapathy. 2006. Performance Evaluation of Zero Energy Cool Chamber in Hilly Region. Agricultural Engineering Today, 30(5-6): 47-56.
- Stella, M. A. 2004. Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas. Manual de Capacitaciones. Recuperado el 23 de mayo de 2014, de Organización de Las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO): 76 p.
- USAID. 2009. Empowering agriculture: energy options for horticulture. USAID, USA. 1-79.