

**Análisis comparativo de dos tecnologías de
enfriamiento evaporativo cero energía,
dirigido a pequeños productores
hortofrutícolas**

Lizette Carolina Avecillas Ureña

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2015

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA EN AMBIENTE Y DESARROLLO

**Análisis comparativo de dos tecnologías de
enfriamiento evaporativo cero energía,
dirigido a pequeños productores
hortofrutícolas**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Lizette Carolina Avecillas Ureña

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2015

Análisis comparativo de dos tecnologías de enfriamiento evaporativo cero energía, dirigido a pequeños productores hortofrutícolas

Presentado por:

Lizette Carolina AVECILLAS UREÑA

Aprobado:

Erika Tenorio, M.Sc.
Asesora Principal

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

Ivanna Vejarano, Ing. MAP.
Asesora

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Patricia Arce, Ing.
Asesora

Análisis comparativo de dos tecnologías de enfriamiento evaporativo cero energía, dirigido a pequeños productores hortofrutícolas

Lizette Carolina Avecillas Ureña

Resumen: Tecnologías de enfriamiento evaporativo permiten a pequeños productores en zonas rurales preservar los productos hortofrutícolas sin el uso de energía eléctrica. Se evaluaron las cámaras de enfriamiento COLD STORE (Charcoal Evaporative Cooler) y ZECC (Zero Energy Cool Chamber), junto con un tratamiento control (ambiente bajo sombra). Los criterios de valoración analizados incluyeron la eficiencia de enfriamiento y la eficiencia en el mantenimiento de la calidad del chile morrón (*Capsicum annuum L.*). Las variables evaluadas fueron: peso, calidad visual, madurez, temperatura y humedad relativa. Los datos se analizaron con la prueba ANDEVA de un factor y la prueba no paramétrica H de Kruskal-Wallis ($P \leq 0.05$). En el ZECC se redujo 1.8% del peso del chile comparado con el COLD STORE (3.13%) y control (9.99%). El COLD STORE y ZECC conservaron el chile morrón en excelente calidad (72% y 76%) comparado con el control (0.43%). El COLD STORE mostró mayor eficiencia (27%) en cuanto a la reducción de temperatura en comparación con la cámara ZECC. Las dos cámaras resultaron eficientes incrementando la humedad relativa, sin embargo la cámara ZECC alcanzó un 110% de eficiencia lo que generó mayor incidencia de plagas y enfermedades. En general las cámaras COLD STORE y ZECC mantuvieron los frutos en condiciones óptimas para la comercialización. Pequeños productores opinan que estas tecnologías son accesibles y que podrían ser usados para el almacenamiento de distintos productos dentro de sus hogares. En la actualidad, el desarrollo y transferencia de tecnologías de bajas emisiones son excelentes medidas de adaptación y mitigación ante el cambio climático en zonas vulnerables como el corredor seco hondureño.

Palabras clave: Adaptación, calidad visual, cambio climático, *Capsicum annuum*, COLD STORE, corredor seco, eficiencia de enfriamiento, ZECC.

Abstract: Evaporative cooling technologies help small farmers in rural areas to preserve fruit and vegetables without electricity. We evaluated two evaporative coolers known as COLD STORE (Charcoal Evaporative Cooler) and ZECC (Zero Energy Cool Chamber), with a control treatment (shaded environment). The criteria for this evaluation included cooling efficiency and efficiency in the maintenance of quality of green pepper (*Capsicum annuum L.*). The variables evaluated were: weight, visual quality, ripening, temperature and, relative humidity. Data were analyzed with a One-way ANOVA test and the non-parametric Kruskal-Wallis H test ($P \leq 0.05$). In the ZECC chamber, pepper weight was reduced by 1.8%, which compared favorably to COLD STORE (3.13%) and the control (9.99%). The COLD STORE and ZECC chambers preserved the peppers with excellent quality (72% and 76%) compared to the control (0.43%). The cold store was 27% more efficient in reducing temperature compared to ZECC. The two technologies are efficient in terms of increasing relative humidity; however the ZECC chamber reached 110% efficiency which resulted in higher incidence of pests and diseases. Overall COLD STORE and ZECC chambers maintain the quality of the fruit in the best condition for marketing. Small farmers believe that these technologies are accessible and could be

implemented not only with the purpose of storing postharvest products, but also for storing other products in their homes. The development and transfer of technologies with low emissions are excellent adaptation and mitigation measures to climate change in vulnerable areas in the Honduran dry corridor.

Key words: Adaptation, *Capsicum annuum*, climate change, COLD STORE, cooling efficiency, dry corridor, visual quality, ZECC.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido.....	v
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
4. CONCLUSIONES.....	20
5. RECOMENDACIONES	21
6. LITERATURA CITADA.....	23
7. ANEXOS	27

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros Página

1. Escala de clasificación de calidad visual para el chile morrón.	8
2. Escala de clasificación de madurez para el chile morrón.	8
3. Ubicación de los dispositivos de Temperatura y Humedad Relativa por cesta.	9
4. Eficiencia en la conservación del peso de <i>Capsicum annuum L.</i> (n=28).	10
5. Condiciones de calidad visual inicial y final entre los tratamientos (n=28).	11
6. Comparación del estado de madurez del chile morrón para los tratamientos: Control, COLD STORE y ZECC al finalizar el ensayo (n=24).	13

Figuras Página

1. Plano modelo para la construcción de la cámara COLD STORE.	5
2. Plano modelo para la construcción de la cámara ZECC.	6
3. Categorización de chiles según los parámetros de calidad visual.	12
4. Comparación de las temperaturas máxima, mínima y promedio durante las 24 horas de los tratamientos en comparación con el ambiente (n=28).	13
5. Temperatura promedio horaria registrada durante el ensayo (n=28).	15
6. Eficiencia en la reducción de temperatura dentro de las cámaras COLD STORE y ZECC según las horas del día (n=28).	15
7. Humedad relativa promedio horaria registrada durante el experimento (n=28). ...	16
8. Eficiencia en el incremento de la humedad relativa dentro de las cámaras COLD STORE y ZECC, en relación al ambiente (n=28).	17
9. Incidencia de insectos/organismos plaga en los tratamientos COLD STORE y ZECC.	19

Anexos Página

1. Cuestionario aplicado a pequeños productores de frutas y hortalizas en cinco comunidades del departamento de Francisco Morazán.	
--	--

Error! Bookmark not defined.

2. Cámara ZECC implementada.....	29
3. Cámara COLD STORE implementada.	29
4. Parámetros para la evaluación de la calidad visual del chile morrón según los defectos presentes en los frutos.	30
5. Escala de maduración del chile morrón.....	30
6. Escala visual del chile morrón según los rangos de pérdida de agua.....	31
7. Costos de los materiales y mano de obra para la construcción de las cámaras.	31

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos importantes para el manejo postcosecha de productos hortofrutícolas es minimizar su deterioro durante el almacenamiento. La calidad de las frutas y hortalizas están directamente influenciadas por la tasa de respiración en la cual los frutos cosechados consumen oxígeno y producen dióxido de carbono mediante procesos de difusión celular (Coronado *et al.* 2010). Inhibir este proceso prolonga la calidad de productos mediante el uso de atmósferas modificadas o por medio de tecnologías más económicas que controlan la temperatura y humedad relativa durante el almacenamiento (Parra *et al.* 2008).

Las altas temperaturas afectan negativamente la calidad de productos perecederos como frutas y verduras durante y después de la cosecha, por lo que para evitarlo se han implementado técnicas como: Almacenamiento de productos en zonas sombreadas, uso de cajas de colores claros, cajas con tapas, entre otros. Pese a ello se considera indispensable el uso de cámaras de almacenamiento en frío como un agente idóneo para inhibir o reducir las pérdidas ocasionadas por defectos físicos, fisiológicos o microbiológicos durante el manejo postcosecha (Muñoz y Vicente 1985). El uso apropiado de la refrigeración durante el almacenamiento prolonga la vida de frutas y vegetales preservando su calidad, ya que por cada 10°C adicionales se incrementa de dos a tres veces su respiración, reduciendo su vida postcosecha de dos a cuatro veces (IICA 2006).

Las pérdidas postcosecha de frutas y hortalizas en Estados Unidos representan hasta un 23%, mientras que en los países en desarrollo la cifra aumenta a 50%, por el mal manejo del producto o por no contar con infraestructura adecuada durante la etapa postcosecha (FAO 2012). En la producción de hortalizas como el chile morrón (*Capsicum annum L.*), se pueden registrar pérdidas de hasta un 100% por daños mecánicos o de almacenamiento como: Pudrición, deshidratación y maduración (USAID 2006). Los países en desarrollo al no contar con tecnologías para almacenar sus productos en frío, cosechan los frutos en pre-madurez fisiológica para evitar su deterioro, por lo cual estos pierden consistencia, valor nutritivo y valor comercial (FAO 2011).

En Centro América, la mayor producción de frutas y hortalizas proviene de los pequeños agricultores (USAID 2013). En Honduras existen aproximadamente 15 mil pequeños productores de hortalizas los cuales abastecen al 65% de las grandes ciudades del país (SAG 2010). Dentro de estas hortalizas el cultivo de chile dulce tipo morrón representa un rubro importante para el mercado local y regional. La principal producción se localiza en áreas de los departamentos de: Intibucá, Ocotepeque, Comayagua, El Paraíso, Olancho y Francisco Morazán, todos a excepción de Comayagua se hallan dentro del corredor seco hondureño donde se localizan 240 mil de los 800 mil productores hortofrutícolas del país (FHIA 2013).

La región centroamericana es altamente vulnerable ante los eventos climáticos extremos (fenómenos como el Niño y la Niña, reducción de los días fríos, prolongación de las olas de calor, etc.), los cuales impactan en la producción y comercialización de los productos agrícolas, causando severas pérdidas económicas (IPCC 2007). Tanto la variabilidad como el cambio climático están estrechamente relacionados a pérdidas de productos agrícolas en zonas rurales de países en vías de desarrollo, las cuales son vulnerables por tener menos acceso a servicios energéticos, a infraestructura y a tecnologías agrícolas para adaptarse a estos fenómenos (González *et al* 2013).

Honduras en los últimos 20 años ha sido considerado el país más vulnerable y afectado por el cambio climático (CMNUCC 2013). Según pronósticos de cambio climático, para el 2020 se esperará un aumento en la temperatura de 0.8°C para los departamentos de Comayagua, Francisco Morazán y El Paraíso, dentro de estos se encuentran municipios considerados como los más pobres del país (PNUD 2010). A pesar de que Tegucigalpa y el departamento de Cortés se ubican como focos de desarrollo, estos alcanzan niveles de pobreza importantes en zonas rurales (BCIE 2011).

Las pérdidas postcosecha agravan el problema de hambre a nivel mundial, asimismo se destaca que con formación adecuada e inversiones, estas pérdidas podrían disminuirse en forma rápida (FAO 2009). Desafortunadamente la mayoría de los pequeños productores carecen de capacidad para adquirir nuevas tecnologías de enfriamiento que les permitan mantener la calidad y vida útil del producto cosechado.

Prácticas, técnicas, políticas y tecnologías de adaptación al cambio climático son de vital importancia para los países en desarrollo, ya que su economía depende en gran medida de sectores vulnerables al clima como el agrícola. Una alternativa a esta problemática es el desarrollo y transferencia de tecnologías ambientalmente racionales, de bajas emisiones que puedan ser empleadas en varios sectores de la economía, no solo como medidas de adaptación sino también para mitigar el cambio climático (ONU 2014).

Del total de la población hondureña, 200 millones (18%) no cuentan con energía eléctrica (BM 2014). Si tomamos en cuenta el alto costo de la energía más la adquisición de tecnologías modernas, resulta una inversión imposible para los pequeños agricultores, quienes en su mayoría carecen de acceso al crédito y sus ganancias no dan abasto para la inversión inicial. Por ello el adecuado aprovechamiento del viento y la energía solar como fuentes naturales, son esenciales para producir energía a bajo costo (SMN 2009).

Las tecnologías de enfriamiento evaporativo sostenibles ya que no utilizan energía externa y funcionan mediante el principio básico de enfriamiento por evaporación. Por medio de viento y temperatura el agua líquida cambia a un estado gaseoso, reflejando una reducción de la temperatura entre 10°C y 15°C, incrementando la humedad relativa hasta un 95% dentro de las cámaras evaporativas en relación al ambiente (Roy s.f).

La cámara de enfriamiento evaporativo COLD STORE (*Charcoal Evaporative Cooler*) con capacidad de almacenamiento de 600 kg a 800 kg de producto, ha demostrado disminuir la temperatura hasta 7°C comparado al ambiente. Esto ha permitido reducir considerablemente

las pérdidas de productos como maracuyá (*Passiflora edulis*), plátano (*Musa paradisiaca L.*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), en África (Nyirangarama, Butare, Kinamba-Kigali y Kibungo) y en la India (USAID 2000).

La cámara ZECC (Zero Energy Cool Chamber) ha sido probada en más de seis países dando resultados positivos. Esta última fue probada actualmente en Honduras por la Escuela Agrícola Panamericana, para evaluar la calidad de productos como la papaya (*Carica papaya*), el tomate (*Solanum lycopersicum*) y el chile morrón (*Capsicum annuum L.*) obteniendo resultados positivos en cuanto al mantenimiento de la calidad del producto, reportando una reducción de 3°C y un aumento en la humedad relativa 30% mayor con relación al ambiente (Pérez 2014).

La finalidad de usar tecnologías de enfriamiento evaporativo es mejorar la calidad de los productos hortofrutícolas provenientes de pequeños productores para que estos puedan, minimizar sus pérdidas y maximizar ganancias. Adicionalmente se evita el uso de energía eléctrica, el uso de tecnologías de enfriamiento costosas y con mayor impacto ambiental como son los cuartos fríos. Con el fin de determinar la mejor tecnología para pequeños productores hortofrutícolas con condiciones climáticas similares a las del corredor seco hondureño, se analizaron las cámaras de enfriamiento evaporativo denominadas COLD STORE y ZECC con los siguientes objetivos:

- Comparar la eficiencia de las cámaras COLD STORE y ZECC en la capacidad de enfriamiento.
- Comparar la eficiencia de las dos cámaras en el mantenimiento de la calidad del chile morrón, como resultado de su almacenamiento.
- Determinar cuál de las dos tecnologías evaluadas resulta ser más apropiada para los pequeños agricultores del corredor seco hondureño.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la zona de estudio. El estudio se llevó a cabo durante los meses de julio y agosto en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, ubicado en el Valle del Yeguaré, km 30 al este de Tegucigalpa, Honduras. A 14° latitud Norte y 82°2' longitud Oeste, con una temperatura media anual de 26°C y una precipitación anual de 1200 mm, a una altitud de 800 msnm. Las cámaras se construyeron en El Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas ubicado en la zona de Monte Redondo en Zamorano.

Generalidades del cultivo de chile morrón. La mayoría de las especies cultivadas del género *Capsicum* pertenece a la familia de las *Solanaceae* y son oriundas de América, cuya distribución va desde México, zona norte de Chile hasta el noreste de Argentina. Puede adaptarse a climas frescos (no resiste las heladas) pero su potencial genético se expresa de mejor manera a temperaturas promedias de 24°C durante las mañanas y 20°C durante la noche (Hernández *et al.* 1999).

Es una planta herbácea perenne, cuyo ciclo de cultivo es anual con un sistema radicular pivotante de crecimiento limitado y erecto. Sus hojas son lampiñas y lanceoladas, con un ápice pronunciado. Las flores son hermafroditas, cuentan con cinco estambres y un estigma. Los frutos son bayas huecas, semicartilaginosa, de color verde oscuro en su etapa inicial (inmadurez), con el tiempo adquiere una coloración rojiza como indicativo de su madurez completa. El tamaño de *Capsicum sp* varía entre 7 y 15 centímetros de largo, son frutos ricos en vitaminas A, C, B1, B2, y fósforo. En América Latina el chile morrón es mayormente cultivado en México y en Estados Unidos (Vallejo *et al.* 2004).

Cámara COLD STORE. Es una habitación de madera con doble pared cubiertas con malla hexagonal galvanizada tipo gallinero cuyo distanciamiento entre pared interna y externa es de 10 cm. En medio de la doble pared se ubicaron 400 libras de carbón. Las dimensiones fueron: 2.0 m × 1.5 m × 2.0 m (largo, ancho y alto), con un distanciamiento del techo a la pared de 0.5 m (Figura 1). Esta cámara cuenta con una capacidad para el almacenamiento de 600 a 800 kg de producto. El modelo, dimensiones y materiales de esta cámara fueron tomadas del proyecto Asistencia a la Dinamización de Agronegocios en Rwanda (ADAR) “Appropriate technology COLD STORE construction and review of post-harvest transport and handling practices for export of fresh produce” (USAID 2000).

Previo al funcionamiento de la cámara COLD STORE, se lavaron las paredes de carbón para limpiar los poros y aumentar su capacidad de absorción de agua. Adicionalmente se evaluó la

temperatura y humedad relativa dentro de la cámara verificando que exista un cambio significativo de estas variables con respecto al ambiente.

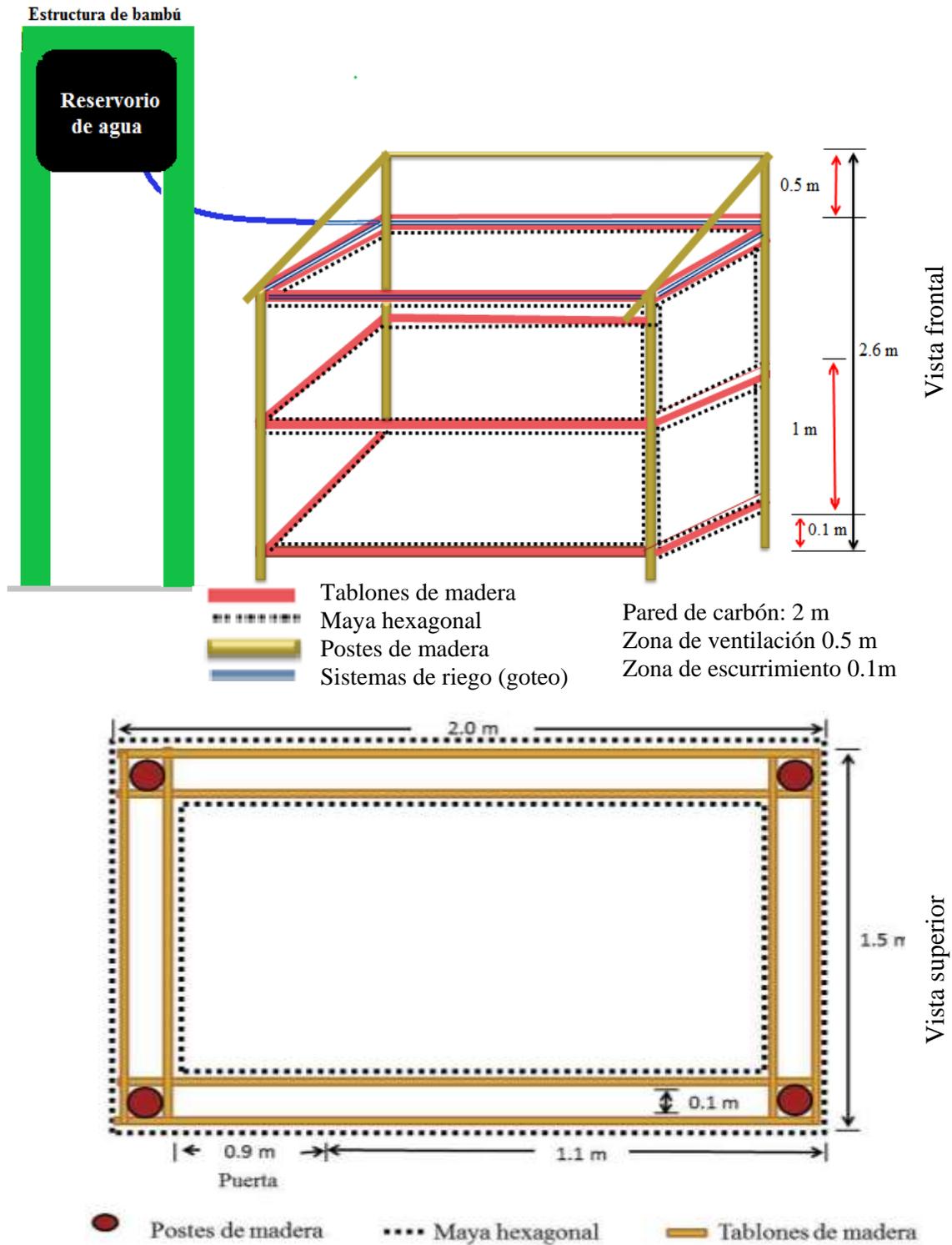


Figura 1. Plano modelo para la construcción de la cámara COLD STORE.

Fuente: Adaptado de USAID 2000.

Diseño Cámara ZECC. Para esta cámara tanto las paredes internas como externas fueron elaboradas con ladrillos rafón, a una distancia entre paredes de 7 cm. En medio de la doble pared se colocó 1 m³ arena. Las dimensiones utilizadas (largo, ancho y alto) fueron: 1.5 × 0.9 × 0.5 m (Figura 2). La cámara se readecuó con base al trabajo realizado por Perez (2014).

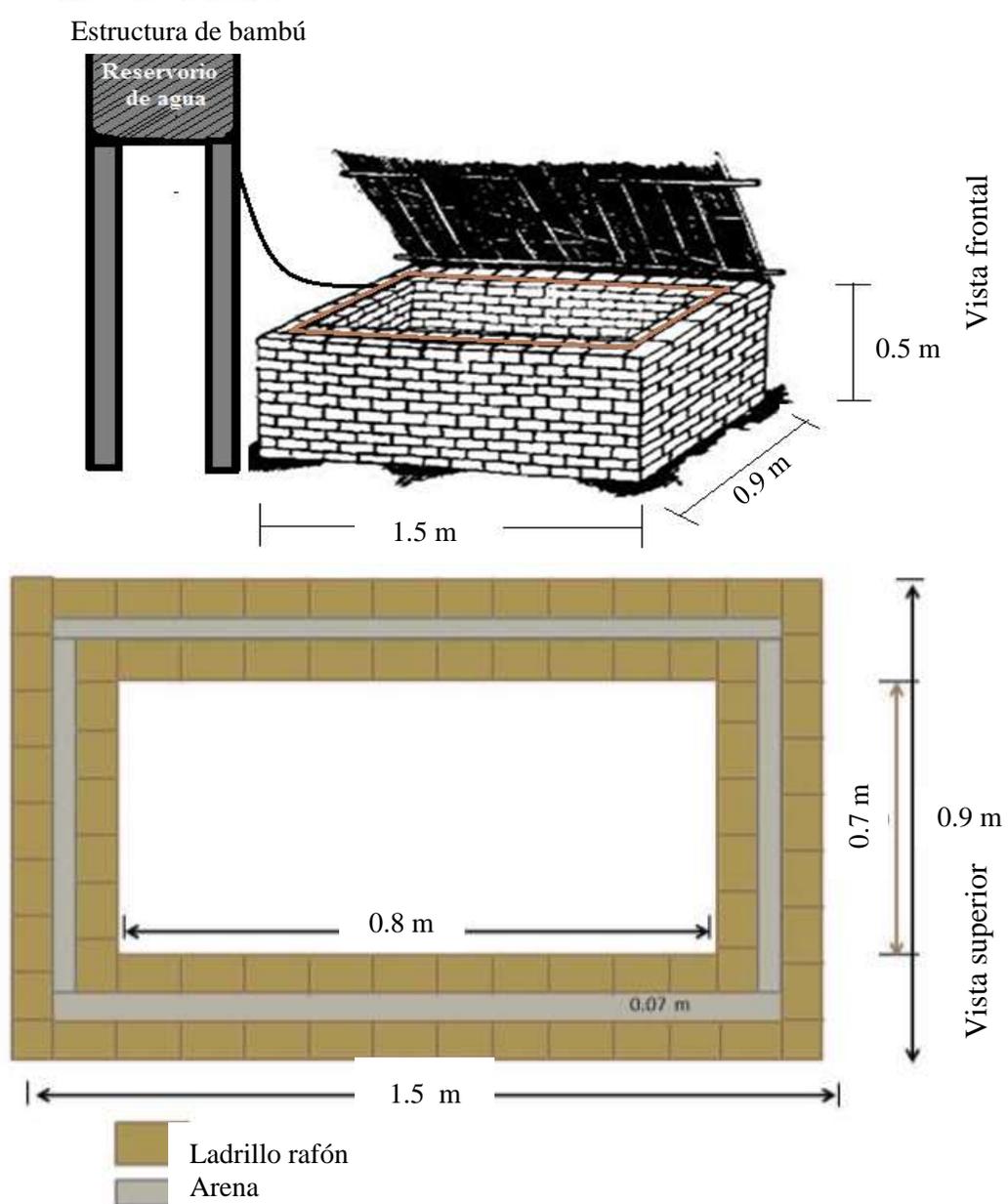


Figura 2. Plano modelo para la construcción de la cámara ZECC.

Fuente: Diseño adaptado de:

- Modelo: International Development Research Center (IDRC 1996).
- Dimensiones: Tecnología apropiada para pequeños agricultores: Evaluación de cámara de enfriamiento con cero energías - ZECC (Pérez 2014).

En las dos cámaras se utilizaron: Ladrillos rafón para el piso y hojas de palma para el techo ya que son materiales de bajo costo y con baja retención de calor. De igual manera se implementó un sistema de riego con cinta de goteo “Family Kit”, con goteros españoles pinchados tipo tornillo regulables (no compensantes), con un caudal variable de 0 a 6 L/h (ABRISA®), abastecido por un reservorio de agua con capacidad de almacenamiento de 200 litros. Durante el ensayo se aplicaron 300 litros de agua diarios en cada cámara, con intervalos de 150 litros en la mañana (7:00 a.m.) y 150 litros por la tarde (12:30 p.m.).

Diseño del ensayo. Se seleccionó el cultivo del chile tipo morrón (*Capsicum annuum L.*) ya que posee alta susceptibilidad frente a fluctuaciones de temperatura y humedad relativa durante el almacenamiento postcosecha (Kader 1993). Se utilizaron tres ambientes de almacenamiento (tratamientos): COLD STORE, ZECC y un control (con condiciones ambientales bajo sombra).

Los tres tratamientos fueron dispuestos de manera simultánea y con similares condiciones de sombra. Durante los 28 días del ensayo se obtuvo promedios diarios de parámetros como: Velocidad del viento, dirección predominante del viento, temperatura, humedad relativa, precipitación y radiación solar. Estas variables ambientales se midieron mediante el uso de una estación meteorológica Vantage2Pro (Davis Instruments Corp.), cuyos datos se registraron a intervalos de 30 minutos.

Se utilizaron cestas plásticas de 55.5 × 38 × 32 cm ya que estas son comúnmente usadas por pequeños agricultores para almacenar su producto. En cada tratamiento se colocaron 6 cestas con 15 libras de chile morrón. Para la determinación de la pérdida de peso de los frutos, se registraron los pesos de cada cesta al inicio (día 1) y al final del ensayo (día 7) por medio de una báscula análoga de colgar (tipo moresco). Para determinar el porcentaje de pérdida de peso se usó la ecuación:

$$\Delta Pp = \frac{Pi - Pf}{Pi} \times 100 \quad [1]$$

Dónde:

- ΔPp = Pérdida de peso en %.
- Pi = Peso inicial del chile/cesta (lb).
- Pf = Peso del chile/ cesta después del almacenamiento (lb).

Los chile utilizados cumplieron con los estándares iniciales de calidad visual (sin golpes, magulladuras, cortes y enfermedades). Para evaluar la calidad visual inicial del chile morrón se utilizó la escala de Kader (Cuadro 1) y solamente se seleccionaron chiles de categoría 9 designados como calidad excelente. No se consideró como una variable de evaluación el tamaño de los chiles para simular las condiciones reales de campo, por lo cual se hizo una distribución del chile al azar para cada cesta.

Cuadro 1. Escala de clasificación de calidad visual para el chile morrón.

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

Fuente: Kader (2010).

La madurez del chile morrón inicial y final fue determinada por medio de su coloración usando la escala de clasificación de madurez de Cantwell (Cuadro 2). Al inicio del ensayo se utilizó únicamente chiles de color verde oscuro para apreciar los posibles cambios en la pigmentación de los mismos como indicativo de su madurez.

Cuadro 2. Escala de clasificación de madurez para el chile morrón.

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

Fuente: Cantwell (2010).

La temperatura y la humedad relativa se registraron a intervalos de 10 minutos, mediante el uso del dispositivo Data Logger Onset® HOB0® Pro v2, el cual permite registrar la temperatura y humedad relativa en tiempo real por medio del software HOB0ware. Los dispositivos se distribuyeron de manera aleatoria en dos cestas dentro de los tratamientos (Cuadro 3).

Con la finalidad de validar las tecnologías se evaluó si las mismas alcanzan los rangos estimados de temperatura y humedad relativa ideales para el almacenamiento del chile morrón durante los siete días evaluados. Por lo cual se midieron las variaciones en la temperatura y humedad relativa dentro de las cámaras de enfriamiento a lo largo del día (24 horas).

Aceptación de los agricultores. Previo a la implementación de las tecnologías se efectuó un sondeo preliminar con 16 pequeños agricultores hortofrutícolas de las comunidades: La Ciénega, Los Potreros, Las Mesas, Santa Inés y El Tablón ubicadas en el Departamento de Francisco Morazán. Esto con la finalidad de obtener información subjetiva sobre pérdidas en postcosecha y el posible interés de estos productores para implementar tecnologías de

enfriamiento cero energía. Cabe indicar que para fines de este estudio el término pequeño productor se refiere a aquellos que tienen rendimientos máximos de 600 kg por cosecha.

Cuadro 3. Ubicación de los dispositivos de Temperatura y Humedad Relativa por cesta.

Canastas	Dispositivos
A1/C1/Z1	Temperatura (T/T), Canal 1
C4/Z4	Temperatura (T/T), Canal 2
A2/C2/Z2	Sin Dispositivo
A3/C3/Z3	Sin Dispositivo
A6/C6/Z6	Sin Dispositivo
A4/A5	Temperatura y Humedad relativa (T/HR)
C5/Z5	Temperatura y Humedad relativa (T/HR)

Número de cestas = 6/Tratamiento.

Tratamientos:

A= Control

C= COLDSTORE

Z= ZECC

Diseño experimental. Se implementó un diseño experimental totalmente al azar, con la evaluación de variables dependientes e independientes. Se realizaron tres tratamientos: En condiciones dentro de la Cámara de Enfriamiento con Cero Energía (ZECC), cámara de enfriamiento evaporativo de carbón (COLD STORE) y un tratamiento control, el cual fue ubicado en condiciones ambientales únicamente bajo sombra, cada uno con cuatro réplicas, para un total de nueve unidades experimentales con cinco variables a evaluar: Peso, calidad visual, madurez, temperatura y humedad relativa.

Análisis estadístico. Se realizó una prueba de medias con la prueba ANDEVA de un factor, con el fin de establecer una comparación entre los diferentes tratamientos (COLD STORE, ZECC y Control) para la evaluación de la variable peso del chile (inicio – final). Además se realizó una comparación mediante un análisis no paramétrico con la prueba H de Kruskal-Wallis, para varias muestras independientes/tratamientos (COLD STORE, ZECC y Control), evaluando el comportamiento del chile morrón. En ambos casos se utilizó un nivel de significancia de $P \leq 0.05$. Se empleó el programa “Statistical Package for the Social Sciences 19” (IBM SPSS) para realizar las pruebas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Percepción de agricultores sobre las cámaras. El 75% de los productores entrevistados cultivaban hortalizas (lechuga, chile, tomate, entre otros) y el 25% restante producían frutas (aguacate, guayaba y cítricos). El 90% considera que las mayores pérdidas se dan durante la cosecha, almacenamiento y transporte de sus productos. El 25% venden su producto a intermediarios, el 19.5% lo comercializa en Tegucigalpa y supermercados por medio de asociaciones y el 56% distribuyen su producto dentro de la comunidad.

Posterior a una presentación sobre las cámaras, su funcionamiento y su diseño, todos los agricultores consultados consideraron que las cámaras COLD STORE y ZECC les sería útil como una herramienta para preservar sus cosechas. A pesar de que más del 50% de los productores tenían cosechas superiores a 100 libras mencionaron que estas tecnologías son accesibles ya que los materiales usados para su construcción están disponibles en sus comunidades y que podrían ser usadas no solo con la finalidad de almacenar productos postcosecha, sino que también podrían almacenar otros productos en sus hogares.

Datos climatológicos. Durante los 28 días del ensayo se obtuvo los siguientes promedios diarios: Velocidad del viento 3.6 km/h, dirección predominante del viento Oeste Sur Oeste 247.50° (WSW), temperatura 24.06°C, humedad relativa 73.35%, una precipitación de 0.37 mm y la radiación solar registrada fue de 155.56 w/m².

Comparación peso inicial y final de los tratamientos. Existen diferencias significativas entre los valores promedio obtenidos en todos los tratamientos ($P \leq 0.05$). Los chiles del tratamiento control (ambiente bajo sombra) perdieron 9.99% de su peso inicial, lo que representó la mayor pérdida de peso en comparación con los otros tratamientos (Cuadro 4). La cámara COLD STORE mostró una reducción del peso de sus chiles en un 3.13%, sin embargo la cámara ZECC en comparación con los dos tratamientos anteriores perdió 1.8% del peso inicial, siendo este último el mejor tratamiento para la conservación del peso del chile.

Cuadro 4. Eficiencia en la conservación del peso de *Capsicum annum L.* (n=28).

Tratamiento	Peso inicial (lb/cesta)	Peso final Promedio (lb/cesta)	Pérdida %	Sig. p<0.05
Control	15	13.60	9.99	.000
COLD STORE	15	14.53	3.13	.002
ZECC	15	14.73	1.80	.002

Comparación de la calidad visual de los frutos en los tratamientos. Se encontraron diferencias significativas entre los tres tratamientos en las escalas de calidad visual: malo, deterioro evidente y calidad excelente (Figura 3). Al finalizar el estudio, el tratamiento control reportó 0.43% de los chiles en estado excelente (de mayor precio en el mercado), siendo este el tratamiento con mayor pérdida en relación a las cámaras COLD STORE y ZECC, las cuales presentaron 72.22% y 76.16% de chiles de excelente calidad (Cuadro 5).

El tratamiento control presentó 22.26% de los frutos de chile en mal estado y 4.13% se encontraron en la fase de deterioro evidente (no comerciales). Por otro lado al comparar los tratamientos COLDSTORE y ZECC estos presentaron 0.19% y 0.46% del producto en categoría mala y 0.44% y 0.58% en deterioro evidente (Cuadro 5).

Al comparar únicamente las cámaras COLD STORE y ZECC no se encontró diferencias significativas en cuatro de las cinco escalas de calidad visual evaluadas (Cuadro 5). La cámara ZECC presentó un mayor porcentaje de frutos malos (0.46%) en comparación con la cámara COLD STORE (0.19%).

Cuadro 5. Condiciones de calidad visual inicial y final entre los tratamientos (n=28).

Calidad Visual	Peso final (lb)				Calidad al final del tratamiento (%)		
	Control	COLD STORE	ZECC		Control	COLD STORE	ZECC
Excelente	1.55	259.98	274.19	**	0.43	72.22	76.16
Bueno	90.28	65.94	62.24		25.08	18.32	17.29
Deterioro evidente	14.85	21.66	13.55	**	4.13	6.02	3.76
Malo	80.13	0.67 ^b	1.64 ^b	**	22.26	0.19	0.46
Extremadamente malo	5.72	1.59	2.10		1.59	0.44	0.58

Significancia: * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$ en los tres tratamientos.

Significancia: ^b $p \leq 0.05$, ^a $p \leq 0.01$ entre las cámaras COLD STORE y ZECC

Se encontró un bajo porcentaje de frutos extremadamente malos en todos los tratamientos, por lo cual no presentaron diferencias significativas entre ellos. No obstante estos fueron descartados por distintas condiciones. En el tratamiento control los chiles presentaron una deshidratación aguda y en el COLD STORE daños físicos en los frutos (Figura 3).

Los frutos de la cámara ZECC se descartaron por presentar mayor incidencia de hongos, heridas de insectos y pudrición de completa de los frutos, en mayor proporción pudrición de pedúnculos (Figura 3). Esta última es una enfermedad de tipo fungosa que afecta principalmente a los frutos de chile morrón en postcosecha y cuyo agente causal es el *Fusarium stilboide* (Sandoval et al.2011).

			
ZECC (<i>Fusarium stilboides</i>)	ZECC (pudrición de frutos)	COLD STORE (defectos en frutos)	CONTROL Deshidratación aguda.

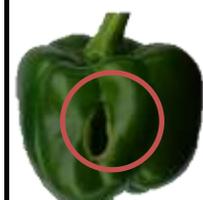
Chile inicial	Excelente (E9)	Bueno(E7)	Deterioro evidente (E5)	Extremadamen te Malo (E1)
COLD STORE				
				
ZECC				
				
CONTROL				
				

Figura 3. Categorización de chiles según los parámetros de calidad visual.

Comparación del estado de madurez de chile morrón. Durante el almacenamiento no se observaron cambios evidentes en cuanto a la coloración de los frutos, por lo cual no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos COLD STORE y ZECC. Por el contrario, al comparar estos con el control si presentaron diferencias significativas entre ellos ($P \leq 0.05$) en la escala de verde oscuro el cual evidencia madurez inicial y el color rojo de los frutos indica madurez completa (Cuadro 6).

Durante la maduración los frutos de *Capsicum annum L.* tienen un patrón fisiológico no-climatérico y producen niveles muy bajos de etileno ($0.1 - 0.2 \mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{h}$) a una temperatura de 20 a 25°C (Cantwell 2013). Por lo anterior se determina que el mayor número de los frutos

rojos (en etapa de madurez) presentes en el tratamiento control no depende de su patrón fisiológico (producción de etileno) sino a que su temperatura de exposición superó los 25°C (Figura 6).

Cuadro 6. Comparación del estado de madurez del chile morrón para los tratamientos: Control, COLD STORE y ZECC al finalizar el ensayo (n=24).

Madurez	Madurez final (lb)				Madurez final (%)		
	Control	COLD STORE	ZECC		Control	COLD STORE	ZECC
Verde oscuro	280.53	321.21	321.10	**	77.90	89.23	89.19
Verde claro	9.86	5.63	5.25		2.74	1.56	1.46
Naranja-amarillo	17.08	13.24	14.37		4.74	3.68	3.99
Naranja-rojo	9.94	8.21 ^b	6.46 ^b		2.76	2.28	1.79
Rojo	10.87	1.41	6.19	**	3.02	0.39	1.72

Significancia: * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$ en los tres tratamientos.

Significancia: ^b $p \leq 0.05$, ^a $p \leq 0.01$ entre las cámaras COLD STORE y ZECC.

Comparación de la variación de la temperatura en los tratamientos. Al comparar la temperatura del ambiente sin ningún tratamiento se observó que la temperatura mínima encontrada es 19.25°C, este valor es menor al compararlo con el control 20.63°C, COLD STORE 20.63°C y ZECC 21.41°C, representando un incremento de 7.17%, 6.75% y 16.42% con respecto a la temperatura ambiental. Por el contrario la temperatura máxima del ambiente fue de 31.03°C, comparado con el control 28.85°C, COLD STORE 22.63°C y ZECC 23.15°C, lo que representa una reducción en la temperatura de 7%, 27% y 25% con respecto a la temperatura máxima ambiental (Figura 5).

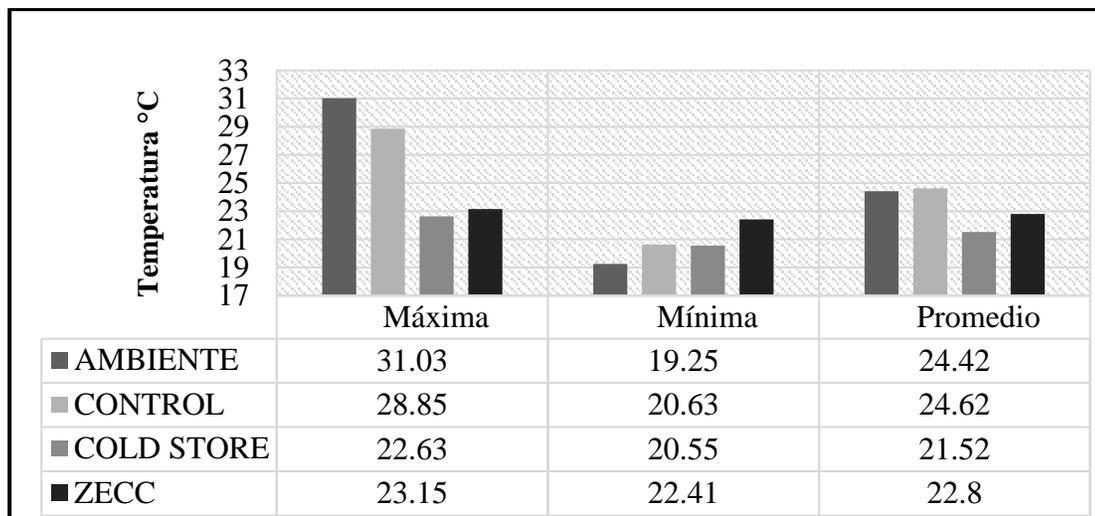


Figura 4. Comparación de las temperaturas máxima, mínima y promedio durante las 24 horas de los tratamientos en comparación con el ambiente (n=28).

Esta diferencia abrupta en los datos de temperatura máxima y mínima, incrementan la variación en los cálculos de los promedios para un día. Para observar mejor la distribución de los datos se estableció conveniente evaluar la temperatura de las tecnologías realizando un promedio por horas y no por día (Figura 5).

La temperatura ideal para el almacenamiento de *Capsicum annuum L.* oscila entre 7 -13°C para un periodo de almacenamiento de 2 a 3 semanas (Paull 1990). Las tecnologías de enfriamiento evaporativo evaluadas, a pesar de no cumplir con las temperaturas ideales para conservar el producto de 2 a 3 semanas, si preservaron las características de madurez y calidad visual óptimas durante los siete días. Esta particularidad también fue demostrada en la investigación de Pérez (2014) en donde la cámara ZECC conservó la calidad del chile durante 10 días con una temperatura promedio de 23°C y 87% de humedad relativa.

Si tomamos en cuenta que la temperatura de almacenamiento influye significativamente en la tasa de deterioro de las frutas y hortalizas, un aumento de 10°C por encima de la temperatura óptima de almacenamiento puede aumentar de 2 a 3 veces la tasa de deterioro (Kader 1992). Con esta afirmación se estimó que el rango de temperatura ideal para el almacenamiento del chile morrón para un período de 7 a 12 días oscila entre 17 y 23°C.

El tratamiento control presentó los picos más altos de temperatura (de 26°C a 30°C) en los horarios de 10:30 a.m. hasta las 19:30 p.m., a pesar de que la temperatura del ambiente sin sombra en los mismos horarios osciló entre 27°C y 31°C (Figura 5). Es decir, el efecto sombra reduce aproximadamente 1°C la temperatura ambiental. A pesar de esta ventaja en la reducción de temperatura, el tratamiento control es el tratamiento menos calificado para el almacenamiento del chile morrón. El uso de sombra se tradujo en una reducción de temperatura en los productos cosechados, los árboles son una excelente fuente de sombra y pueden reducir la temperatura ambiental, por ello es importante ubicar las tecnologías de enfriamiento evaporativo debajo de estos para incrementar su eficiencia.

En la cámara ZECC no hubo variación significativa de temperatura. Durante las 24 horas se registraron temperaturas entre 21°C y 23°C y la humedad relativa se mantuvo por encima del 95%, esto indica que tanto la temperatura como la humedad relativa ambiental no influyen en su eficiencia (Figura 5 y 7). Esta particularidad se puede atribuir a su reducido tamaño y a que su estructura está completamente sellada (sin espacio de salida/ chimenea) donde el aire caliente y húmedo por densidad asciende dentro de la estructura y al no encontrar aberturas en la parte alta crea zonas calientes y húmedas que afectan la calidad y conservación del producto favoreciendo el desarrollo de enfermedades fungosas (López 2004) como el *Fusarium stilboides* encontrado en los frutos de la cámara ZECC.

La cámara COLD STORE sí presentó variación en la temperatura y humedad relativa durante el día, es decir varía según las condiciones ambientales. Dentro de esta cámara se registraron temperaturas entre los 19°C - 22°C y la humedad relativa varió entre 93% - 98% entre las 09:00 a.m. y 18:00 p.m. a diferencia de la temperatura ambiental del tratamiento control la cual en los mismos horarios alcanzó una temperatura entre 21°C - 31°C y cuya humedad relativa se situó por debajo del 50% (Figura 5 y 7).

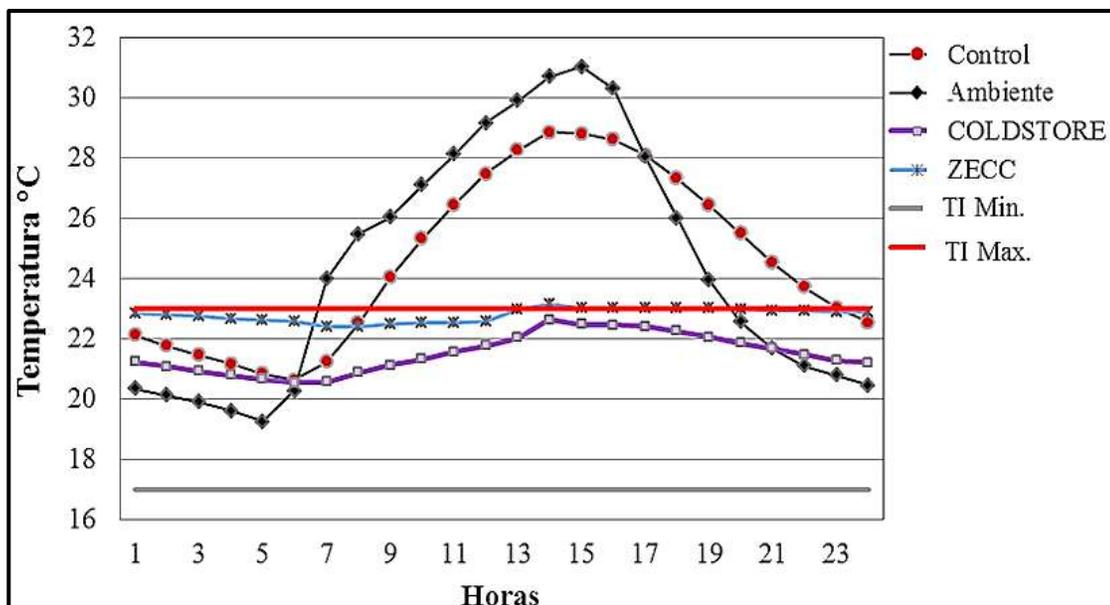


Figura 5. Temperatura promedio horaria registrada durante el ensayo (n=28).
 TI Min. = Temperatura ideal mínima para el almacenamiento del chile morrón.
 TI Máx. = Temperatura ideal máxima para el almacenamiento del chile morrón.

Evaluación de la eficiencia en la reducción de la temperatura de las cámaras COLD STORE y ZECC. La eficiencia en reducción de temperatura con respecto al ambiente la cámara ZECC demostró ser eficiente en horarios de 6:30 a.m. a 19:30 p.m., lo que resultó en una reducción de la temperatura de hasta un 25% durante un período de 13 horas, a diferencia de la cámara COLD STORE cuya eficiencia se muestra desde las 6:00 a.m. hasta las 21:00 p.m. alcanzando hasta un 27% de eficiencia durante 15 horas, siendo esta última superior y por ende más eficiente en reducción de temperatura que la cámara ZECC (Figura 6).

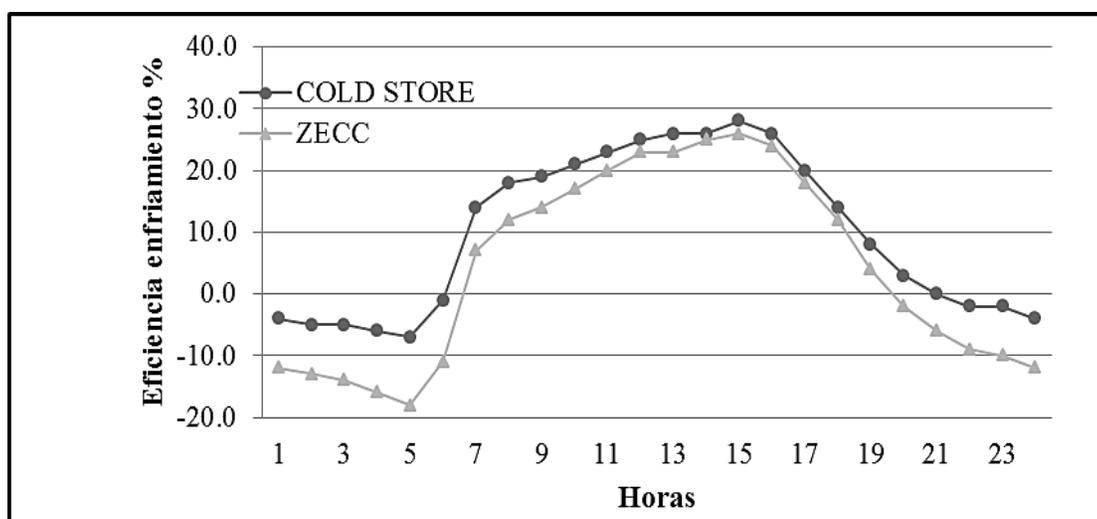


Figura 6. Eficiencia en la reducción de temperatura dentro de las cámaras COLD STORE y ZECC según las horas del día (n=28).

Evaluación de la humedad relativa en los tratamientos. La humedad relativa expresa la cantidad de agua presente en el aire y es definida como la relación porcentual entre la presión de vapor del agua real y el de punto de saturación del aire a esa temperatura. El tratamiento control presentó 50% de humedad relativa que reflejó una pérdida de peso en los frutos del 10%. La cámara COLD STORE presentó entre 93% - 98% de humedad relativa con una pérdida del 3% del el peso de los chiles, la humedad relativa dentro de la cámara varió durante el día (Figura 7).

La cámara ZECC presentó una humedad relativa constante y superior al 95% durante las 24 horas (Figura 7), por lo cual únicamente se registró 1.8% de pérdida de peso de los frutos de chile morrón. Estudios han encontrado que con altos porcentajes de humedad relativa durante el almacenamiento reduce la pérdida del peso de las frutas y hortalizas (Ben Yehoshua, 1987), esto también se observó en esta investigación. De igual manera, Shirazi y Cameron (1993) encontraron que la mayor pérdida de agua en los tejidos de tomate (*Lycopersicon esculentum*) ocurre cuando la humedad relativa del ambiente se reduce.

La mayoría de las frutas y hortalizas deben ser conservadas en un rango de humedad del 90-95% o valores próximos a la saturación, salvo algunas excepciones como la cebolla, ajo, zapallo y otras especies que se almacenan con una humedad relativa entre 60 y 70% (Artés 1987). La capacidad del aire para retener vapor de agua aumenta con la reducción de la temperatura, por lo cual, se incrementa la cantidad de humedad necesaria para saturarlo. En las tecnologías de enfriamiento por evaporación evaluadas, la reducción de la temperatura por medio de la refrigeración incrementa la humedad relativa de la masa de aire dentro de las cámaras.

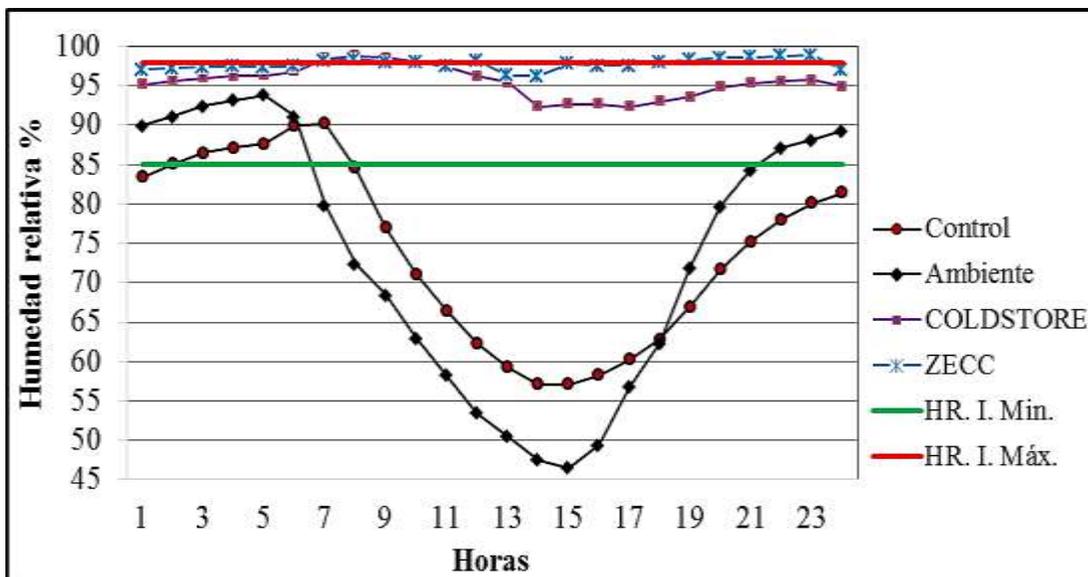


Figura 7. Humedad relativa promedio horaria registrada durante el experimento (n=28).
 HI. I. Min = Humedad relativa mínima ideal para el almacenamiento del chile morrón.
 HI. I. Máx = Humedad relativa máxima ideal para el almacenamiento del chile morrón.

El vapor de agua se mueve de una zona de mayor a otra de menor presión. En los tejidos vegetales, el agua de los jugos celulares se encuentra mayormente en forma líquida, sin embargo en los espacios intercelulares se halla en forma gaseosa en concentraciones muy próximas a la saturación (López 2004). Si los frutos no están expuestos a un ambiente saturado, existe una diferencia de presiones de vapor, lo cual provoca que los frutos se deshidraten. La pérdida de agua de los productos hortofrutícolas se asocia generalmente a una pérdida de calidad ya que puede haber cambios visuales tales como el marchitamiento o arrugado y cambios en la textura, por lo cual los frutos de chile morrón ubicados en el tratamiento control (con baja humedad relativa) reportaron mayor pérdida en cuanto a la calidad visual al final del experimento en comparación con el COLD STORE y ZECC.

Evaluación de la eficiencia en el incremento de la humedad relativa en las cámaras COLD STORE y ZECC. Las cámaras de enfriamiento evaporativo evaluadas fueron eficientes en cuanto al incremento de la humedad relativa durante las 24 horas del día en relación a la humedad relativa ambiental. Pese a ello la cámara ZECC supera la eficiencia de la cámara COLD STORE alcanzando hasta un 110% de eficiencia (Figura 8).

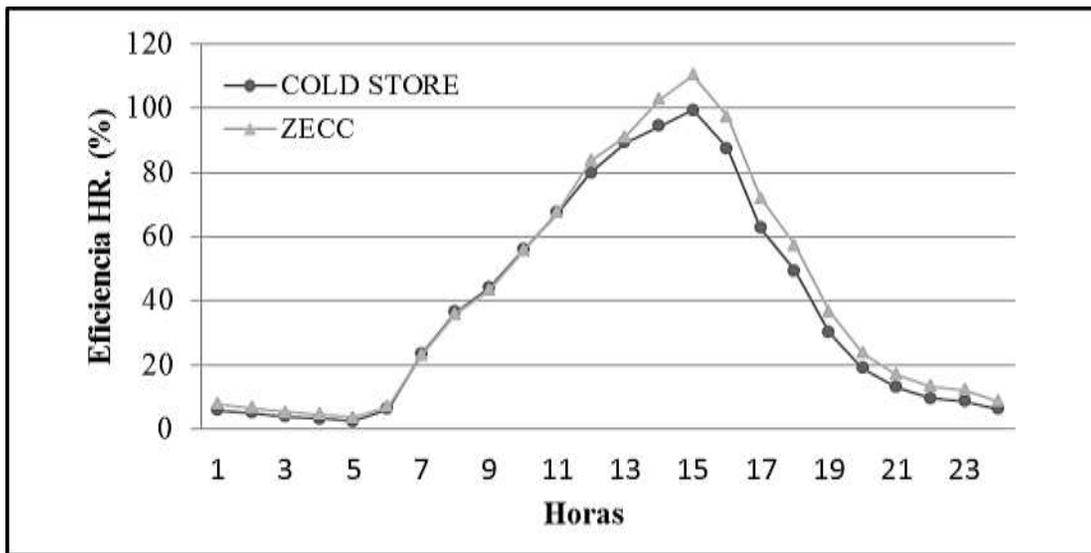


Figura 8. Eficiencia en el incremento de la humedad relativa dentro de las cámaras COLD STORE y ZECC, en relación al ambiente (n=28).

La principal particularidad observada en la cámara COLD STORE es su dependencia a la variación de temperaturas y humedad relativa ambiental, aunque los cambios no son bruscos, si la temperatura en el ambiente aumenta sucede un incremento de temperatura dentro de la cámara, de igual forma al disminuir la temperatura del ambiente su eficiencia disminuye. Con ello podemos deducir que mientras mayor sea la temperatura ambiental mayor será la eficiencia de la cámara COLD STORE.

Inocuidad de las cámaras, incidencia de insectos y organismos plaga. Dentro de los tratamientos se encontró la incidencia de macro organismos. La cámara ZECC fue el tratamiento con mayor incidencia de insectos y organismos plaga entre los cuales se registraron: Cien pies, mil pies, cochinillas de humedad, moluscos (caracoles y babosas) inclusive roedores que afectan la calidad del chile. Adicionalmente debemos considerar que uno de los aspectos más importantes para la comercialización de frutas y verduras es su inocuidad ya que varios de estos organismos como los moluscos y los roedores son potenciales vectores de virus y bacterias que afectan la salud humana (Martín S.f.).

- **Artrópodos.** Estos organismos en su estructura presentan patas articuladas y un exoesqueleto quitinoso. Dentro de este grupo se encuentran los mil pies, cien pies y las cochinillas de humedad (*Porcellio scaber*). No son capaces de retener agua en su cuerpo; es por esta razón que viven en lugares húmedos. Las cochinillas se alimentan de materia orgánica y plantas en descomposición (Chichester y Getz 1973).
- **Roedores.** Ratas y ratones se alimentan de los cultivos almacenados. Estos animales constituyen un peligro para la salud humana ya que contaminan alimentos. Estos animales son muy hábiles y pueden trepar y nadar, prefieren vivir en lugares con alta disponibilidad de agua ya que necesitan beberla todos los días. Se comprobó la presencia de estos animales en 3 de las 4 réplicas dentro del tratamiento ZECC, encontrándose incluso un nido con 6 crías y frutos con laceraciones (mordeduras), además tienden a dejar un olor desagradable en los frutos. Estos se han convertido en una de las principales plagas en postcosecha, donde no solo provocan daños físicos sino también los frutos se pudren por las lesiones que causan.
- **Moluscos.** Se encontró incidencia de *gasterópodos* (babosas terrestres y caracoles) en las dos cámaras evaluadas. No obstante la cámara ZECC presentó una mayor proporción de estos organismos.
- **Insectos plaga.** La cámara COLD STORE, al estar hermética únicamente presentó incidencia de lepidópteros en las paredes exteriores y en la tela sarán ubicada en la parte superior o chimenea de la cámara, lo que imposibilitó el ingreso de las mismas evitando daños en los frutos de chile. Por el contrario la deficiencia hermética y las condiciones de alta humedad dentro de la cámara ZECC propició el ingreso y hábitat de varios organismos incluyendo insectos como grillos (*Gryllus sp.*) que también se alimentan de tejidos vegetales y afectan los frutos.

		
ZECC: Miriápodos (Cienpiés y milpiés)	ZECC: Cochinilla de humedad	ZECC: Moluscos (Caracoles y babosas)
		
ZECC: Roedores	ZECC: Daño por plagas	ZECC: Grillos (<i>Gryllus</i> <i>sp</i>)
		
ZECC: Daño por Roedores	COLD STORE: Lepidópteras fuera de la estructura	COLD STORE: Caracoles y babosas

Figura 9. Incidencia de insectos/organismos plaga en los tratamientos COLD STORE y ZECC.

4. CONCLUSIONES

En comparación a los tratamientos COLD STORE y control, en la cámara ZECC se logró un mayor incremento de la humedad relativa, lo que redujo la deshidratación y mejoró la calidad visual del chile, sin embargo propició la incidencia de *Fusarium stilboide* y la presencia de plagas como roedores, moluscos, insectos y artrópodos que afectaron la inocuidad de los productos almacenados.

El COLD STORE fue más eficiente que el ZECC en la reducción de temperatura, sin embargo esto no influenció en el cambio de coloración de los chiles, es decir no se evidenció mejorías en la maduración de los frutos. Por el contrario al comparar las cámaras con el tratamiento control se encontró una alta maduración de los frutos por efecto de las altas temperaturas registradas en este tratamiento.

En cuanto a eficiencia, el COLD STORE y ZECC conservaron la calidad visual del chile en condiciones óptimas para la comercialización durante el periodo estudiado. El COLD STORE presentó una mayor eficiencia cuanto la temperatura ambiental incrementó, por el contrario la eficiencia de la cámara ZECC no se vio influenciada por las fluctuaciones de temperatura y humedad relativa.

En comparación a la cámara ZECC, la cámara COLD STORE tiene mayor capacidad de almacenamiento, menor incidencia de plagas y/o enfermedades en los frutos, fácil acceso y manipulación del producto almacenado, sin embargo su vida útil se vio afectada por la composición de los materiales utilizados que en su mayoría eran tejidos de origen vegetal con alta tasa de degradación.

Los productores entrevistados opinaron que los materiales usados para la construcción de estas tecnologías se encuentran disponibles en su zona, además manifestaron que estas tecnologías son accesibles y podrían ser usadas en sus hogares con otros fines de preservación. Económicamente ambas tecnologías presentaron costos de construcción similares por lo cual su uso dependerá de la cantidad de producto, la zona climática y las preferencias de los productores.

5. RECOMENDACIONES

- La cámara COLD STORE es más la más apropiada para agricultores del corredor seco y para aquellos productores que tengan cosechas superiores a los 100 kilogramos. Esta cámara también puede ser implementada por pequeños agricultores que comercialicen sus productos por medio de asociaciones pero que no superen los 800kg de producto.
- La cámara ZECC puede ser implementada por agricultores de zonas con menos variación climática y cuyas cosechas no superen los 100 kilogramos siempre y cuando se realice un control adecuado de plagas.
- La capacidad de enfriamiento está limitada por la capacidad del aire para contener humedad, por lo tanto, este método es útil en zonas donde existe baja humedad relativa y altas temperaturas ambientales que favorezcan el movimiento de las masas de aire generando vientos constantes durante el día.
- Los árboles son una excelente fuente de sombra y pueden reducir la temperatura ambiental, por ello también es importante ubicar las tecnologías de enfriamiento evaporativo bajo sombra para incrementar su eficiencia.
- Es posible mejorar la estructura COLD STORE usando materiales menos permeables (como cinta de goteo reciclada y trenzada) en la zona de ventilación de la estructura que mantengan la humedad pero que a su vez permitan la salida del aire caliente a fin de evitar la pérdida de humedad.
- Es necesario realizar una revisión constante del sistema de riego, especialmente los goteros ya que estos tienden obstruirse por material particulado que puede existir en el agua utilizada reduciendo la eficiencia de las cámaras.
- Para contrarrestar la desventaja de la cámara ZECC en cuanto a la presencia de plagas, es necesario el uso de trampas mecánicas (ratoneras), productos orgánicos o químicos previo a la ubicación de los frutos con el fin de reducir su incidencia.
- Mantener áreas limítrofes a las cámaras libres de basura y malas hierbas para reducir la incidencia de plagas. Además se puede modificar la estructura usando tela metálica en las zonas de puertas/ventanas, chimeneas y sumideros, sin embargo puede elevar sus costos.
- Previo al uso de las tecnologías es necesario considerar el tipo de cultivos que se almacenará según su tasa de respiración (climatéricos o no climatéricos) ya que su vida

post cosecha tiende a disminuir con la alta producción de etileno liberadas por los frutos climatéricos.

- A pesar de que las cámaras presentaron una alta aceptación por parte de los pequeños productores entrevistados, se debe evaluar la aceptación *in situ* de estas tecnologías en las comunidades, en un contexto social y económico real según las condiciones climáticas particulares de cada productor, lo que incluiría un estudio más completo de percepción sobre la tecnología en cuanto al dominio de esta, su modo de uso o inconvenientes que puedan presentar los productores antes, durante y después de su implementación.

6. LITERATURA CITADA

Artés, F. 1987. Refrigeración y comercialización hortofrutícola en la región de Murcia. Edit. CEBAS-CESIC. 2ª Edición. 15 p.

Banco Mundial. 2014. Porcentaje de población con acceso a la electricidad: Indicadores de desarrollo mundial. Estadísticas de la Agencia Internacional de la energía (en línea). Consultado el 10 de septiembre de 2015. Disponible en: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.ZS/countries/IWHN?display>.

Ben Yehoshua, S. 1987. Transpiration, water stress, and gas exchange. In: Postharvest Physiology of Vegetables. J. Weichmann (ed). Marcel Decker, New York. pp: 113-170.

BCIE. 2011. Ficha estadística de Honduras. Banco Centroamericano de Integración Económica (en línea). Consultado el 06 de junio del 2015. Disponible en: <http://www.bcie.org/uploaded/content/article/1944368211.pdf>.

Cantwell, M. UCDAVIS. 2010. Postharvest Technology. Maintaining Produce Quality e Safety. Universidad de California. 190 p.

Cantwell M. 2013. Chiles: Recomendaciones para Mantener la Calidad Postcosecha. Department of Plant Sciences, University of California, Davis (en línea). Consultado el 05 de Octubre del 2015. Disponible en: <http://postharvest.ucdavis.edu/Hortalizas/Chiles/>

Chichester, L. F., Getz, L. L. 1973. The terrestrial slugs of northeastern North America. *Sterkiana*, 51(2):11-42.

CMNUCC. 2013. Adaptación al Cambio Climático. In C. M. Climático, Octava Edición del Índice de Riesgo Climático Global 2013. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Germanwatch. pp. 25-27

Coronado, A. P., Hernández, J. E., Camacho, T. 2010. Post-harvest physiological study and evaluation of the quality of Cv. Horvin plums (*Prunus domestica* L.) in three cold-storage conditions. *Engineering and Investigation*, 28(1):99-104.

FAO. 2009. Las pérdidas post-cosecha agravan el hambre. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (en línea). Consultado el 15 de mayo del 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/news/story/es/item/36864/icode/>

FAO. 2010. Cosecha y manejo postcosecha. Evaluación de riesgos de higiene en la cosecha y el centro de acopio. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (en línea). Consultado el 10 de junio del 2015. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1374s/a1374s07.pdf>.

FAO. 2011. Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (en línea). Consultado el 16 de mayo del 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/016/i2697s/i2697s.pdf>.

FAO. 2012. Iniciativa mundial sobre la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (en línea). Consultado 19 de mayo del 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/save-food/recursos/keyfindings/infographics/fruit-es/>

FHIA. 2013. Informe técnico 2013: Programa de Hortalizas. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. 1ra ed. La Lima, Cortés, Honduras, C.A. 200 p.

González Alonso M., Zúniga Tito Livio, George Wilson L. 2013. Promoviendo el desarrollo de la horticultura: Evaluación de las limitantes al desarrollo del sector hortícola Centro Americano. Universidad de California (en línea). Consultado el 15 de Septiembre del 2015. Disponible en: http://horticulture.ucdavis.edu/lac/espanol/horticultura_centro_america.pdf.

Hernández Verdugo, S., Aranda Dávila, P., Oyama, K. 1999. Síntesis del conocimiento taxonómico, origen y domesticación del género Capsicum. Review of taxonomy, origin and domestication of the genus Capsicum. Boletín de la Sociedad Botánica de México. (64):65-84.

IICA. 2006. Gestión de agronegocios en empresas/ Poscosecha y Servicios de apoyo a la comercialización. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 13 p. (en línea). Consultado el 9 de mayo del 2015. Disponible en: <http://repiica.iica.int/DOCS/B0352E/B0352E.PDF>.

IPCC. 2007. Cambio climático 2007. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra, Suiza.

Kader, A. 1992. Biología y tecnología de poscosecha: una revisión general. Universidad de California, Davis. Postharvest technology of horticultural crops. pp. 311-324.

Kader, A.A., 1993. In Preece, J.E. and P.E. Read, The Biology of Horticulture: An Introductory Textbook. New York: John Wiley and Sons, Inc. pp. 353-377.

Kader, A., Cantwell. M. 2010. Produce Quality Rating Scales and Color Charts. Postharvest Technology Center University of California, Davis. 23(2):149-151.

López Andrés F. 2004. Manual for the preparation and sale of fruits and vegetables. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Balcarce, Argentina (en línea). Consultado el 03 de octubre del 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/y4893e/y4893e00.htm>.

Martín, P. L. M., Gálvez, M. C., Lorenzo, T. D. Caballero, T. A. 2008. Control sanitario de frutas y vegetales. 296 p.

Muñoz Delgado, J. A., Vicente, A. M. 1985. Refrigeración y congelación de alimentos vegetales. Fundación Española de la Nutrición.

ONU. 2014. Cumbre sobre el clima. Portal de la labor del sistema de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (en línea). Consultado el 20 de mayo del 2015. Disponible en <http://www.un.org/es/climatechange/reduction.shtml>.

Parra Coronado, A. J., Hernández., J. H., Camacho. 2008. Postharvest Physiological study and evaluation of the quality of plums (*Prunus domestica* L.) Cv. Horvin under three conditions of cold storage. 28(1):99-104.

Paull, R. 1990. Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin. pp. 17-36. In Chien Yi Wang (ed.). Chilling injury of horticultural crops. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Pérez Delgado, C.V. 2014. Tecnología apropiada para pequeños agricultores: Evaluación de cámara de enfriamiento con cero energías (ZECC). Tesis Ing. Ambiente y Desarrollo. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 21 p.

PNUD. 2010. Variabilidad Climática y Cambio Climático en Honduras. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. pp. 32-33.

IDRC. 1996. Technologies for women in agriculture. International development research center, New Delhi. 213 p.

Roy, P. S. (s.f.). On-Farm Storage Technology can Save Energy and Raise Farm Income (en línea). Consultado el 13 de mayo del 2015. Disponible en: <http://ucce.ucdavis.edu/files/datastore/234-2143.pdf>.

SAG. 2010. Cadena de valor hortícola. Secretaría de Agricultura y Ganadería de Honduras (en línea). Consultado 16 de agosto del 2015. Disponible en: <http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/132/Brochure%20dela%20cadena%20horticola%20honduras.pdf?sequence=1>

Sandoval Chávez, R. A., Martínez-Peniche, R. Á., Hernández-Iturriaga, M., Fernández-Escartín, E., Arvizu-Medrano, S., Soto-Muñoz, L. 2011. Control biológico y químico contra *Fusarium stilboides* en pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) en postcosecha. Revista Chapingo. Serie horticultura, 17(2):161-172.

Shirazi A C, Cameron L. 1993. Measuring transpiration rates of tomato and other detached fruit. HortScience 28(10):135-138.

SMN HONDURAS. 2009. Meteorología y Recursos Naturales. Servicio Meteorológico de Honduras (en línea). Consultado el 16 de mayo del 2015. Disponible en: <http://smnhonduras.blogspot.com/2009/09/servicio-meteorologico-nacional-de.html>.

USAID. 2006. Boletín técnico de postcosecha: Manejo Postcosecha de chile, la Lima, Cortés, Honduras. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. 4 p.

USAID. 2013. Promoviendo el desarrollo de la horticultura. Evaluación de las limitantes del sector Hortícola en Centro América. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (en línea). Consultado el 10 de mayo del 2015. Disponible en: http://horticulture.ucdavis.edu/lac/espanol/horticultura_centro_america.pdf.

USAID. 2000. Appropriate Technology Cold Store Construction and Review of Post-harvest Transport and Handling Practices for Export of Fresh Produce from Rwanda. Assistance to Dynamisation of Agribusiness as Rwanda (ADAR) Project. Washington D.C. 39 p.

Vallejo Cabrera F. A. y E.J. Estrada. 2004. Producción de Hortalizas de clima cálido., Cali, Colombia. Palmira, Universidad Nacional de Colombia. Gráficos S.A. 346 p.

7. ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario aplicado a pequeños productores hortofrutícolas en 5 comunidades del departamento de Francisco Morazán.



Escuela Agrícola Panamericana Zamorano
Departamento de Ambiente y Desarrollo



Fecha: _____

Comunidad/Aldea: _____

Nombre del Encuestado: _____

Nombre del Encuestador: _____

Las presentes preguntas contribuirán a la realización de una investigación denominada “Análisis comparativo de dos tecnologías de enfriamiento evaporativo cero energía, para el almacenamiento postcosecha de productos hortofrutícolas” como parte del **Proyecto Especial de Graduación de la estudiante Lizette Carolina AVECILLAS**

Agradezco de manera muy especial el tiempo y la información que me puedan brindar, ya que ésta será la base para el desarrollo de mi estudio.

Marque con una X su respuesta:

1: Nombre: _____

2: Sexo: M _____ F _____

3: ¿A qué tipo de agricultura se dedica?

Hortalizas: _____

Frutales _____

Granos básicos _____ Otro (Especifique) _____

4: Especifique los productos agrícolas que cosecha anualmente:

5: ¿Cuáles son los rendimientos que usted obtiene por cada cosecha?

Libras _____
Kilogramos _____
Quintales _____
Otro/Especifique: _____

6: Cuanto tiempo tarda desde que cosecha hasta comercializar sus productos.

1 día o menos _____
2-5 días _____
Una semana _____
Más de una semana _____ Especifique: _____

7: De lo que usted cosecha, ¿Qué cantidad se desperdicia (no se vende) y ¿Por qué?

8: De las siguientes etapas seleccione del 1 al 5 en cual estima usted le causa más problemas por pérdidas (1 mínima y 5 máxima perdida)

Cosecha: (Daño mecánico/ magulladuras/golpes/otros) _____
Almacenamiento: (pudrición (marchitamiento de los frutos)/ otros) _____
Transporte _____
Otro/Especifique _____

8: En su opinión: ¿Estima usted que le sería útil contar con un cuarto de enfriamiento que no requiera energía para almacenar sus cosechas? Sí o no y ¿Por qué?

9: Con la información brindada sobre las tecnologías de enfriamiento COLD STORE y ZECC, ¿Estima usted que estas le sería útil contar con uno de estos cuartos de enfriamiento evaporativo que no requieren energía para almacenar sus cosechas? Sí o no y ¿Por qué?

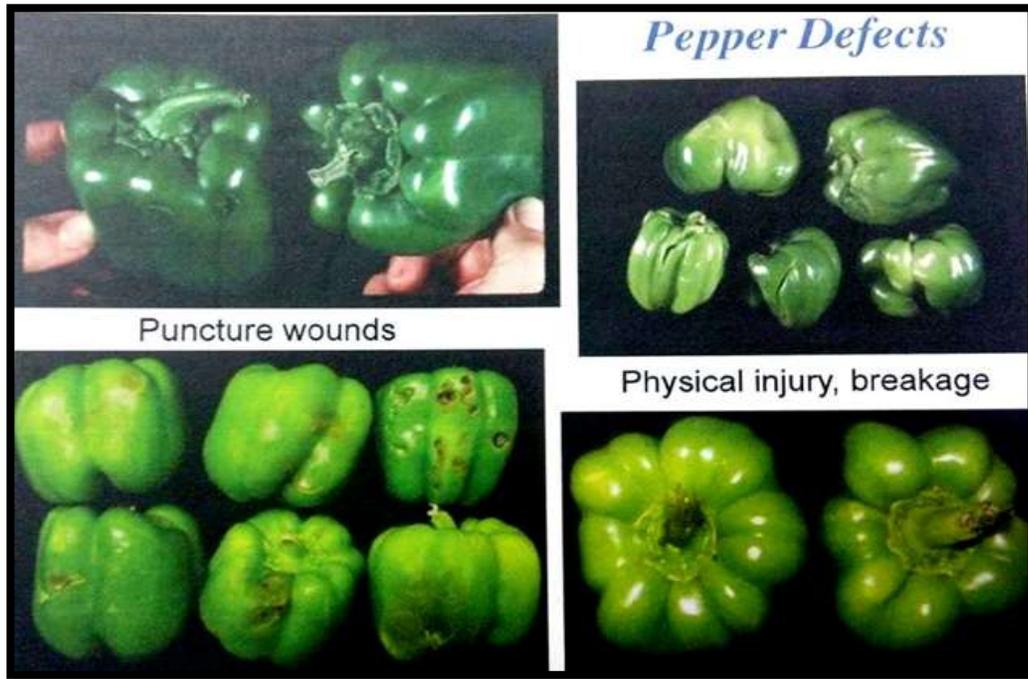
Anexo 2. Cámara ZECC implementada.



Anexo 3. Cámara COLD STORE implementada.

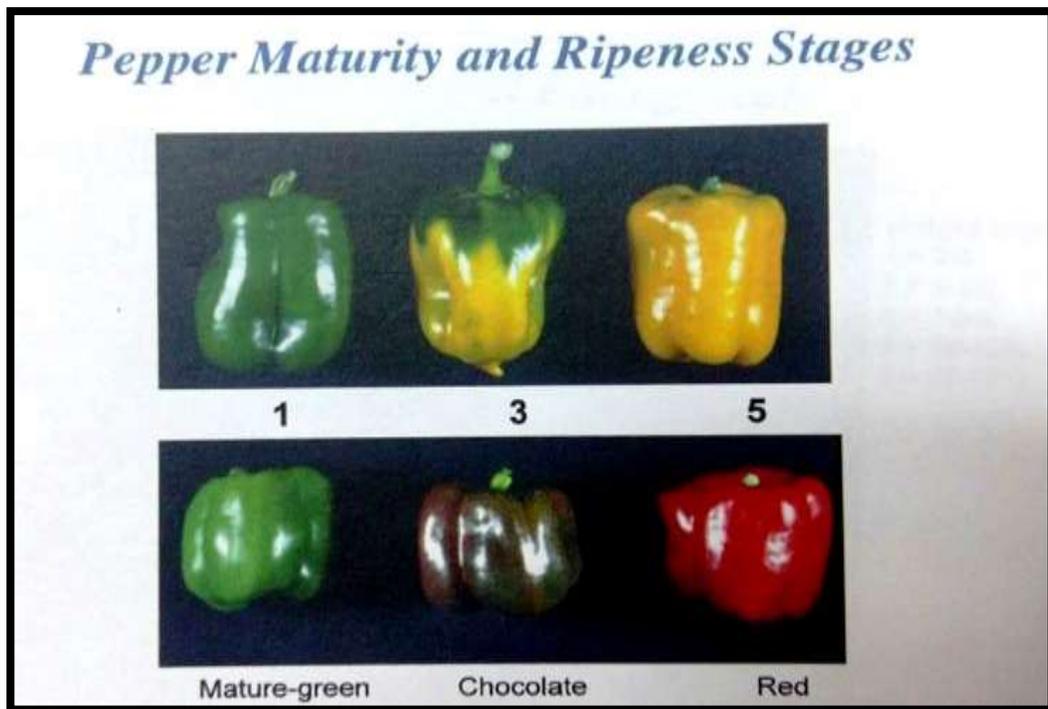


Anexo 4. Parámetros para la evaluación de la calidad visual del chile morrón según los defectos presentes en los frutos.



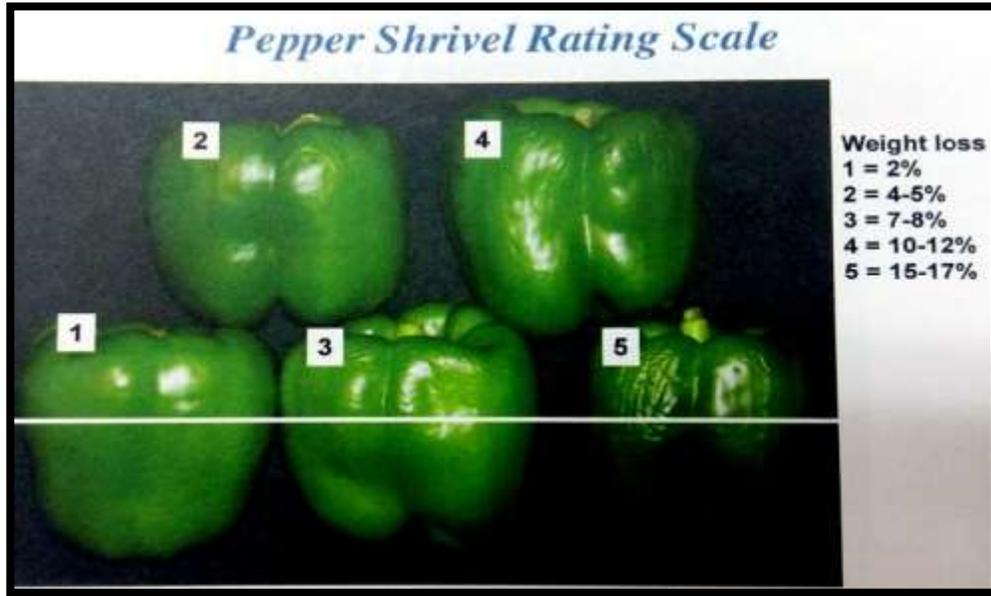
Fuente: Cantwell 2010

Anexo 5. Escala de maduración del chile morrón



Fuente: Cantwell 2010

Anexo 6. Escala visual del chile morrón según los rangos de pérdida de agua.



Fuente: Cantwell 2010

Anexo 7. Costos de los materiales y mano de obra para la construcción de las cámaras.

COSTOS COLD STORE				
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo/unidad Lempiras	Costos
Carbón U. Forestales	120	Libra	10.00	1,200.00
Carbón venta externa	300	Libra	3.33	1,000.00
Mano de obra y materiales	-	Contrato	-	5,000.00
			Total lempiras	7,200.00
			Total dólares	342.86

COSTOS ZECC				
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo/unidad Lempiras	Costos
Ladrillos rafón	1000	c/u	3	3,000.00
Viaje a Tegucigalpa	1	c/u	1000	1,000.00
Arena	1	m3	350	350.00
Mano de obra	6	Jornal	300	1,800.00
			Total lempiras	6,150.00
			Total dólares	307.50