

**Análisis comparativo entre dos sistemas de
invernadero para producción de tomate en la
empresa CEICKOR S.A. de México**

Luis Alberto Boche Córdova

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2012

ZAMORANO
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACION DE AGRONEGOCIOS

Análisis comparativo entre dos sistemas de invernadero para producción de tomate en la empresa CEICKOR S.A. de México

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Administración de Agronegocios en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por:

Luis Alberto Boche Córdoba

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2012

Análisis comparativo entre dos sistemas de invernadero para producción de tomate en la empresa CEICKOR S.A. de México

Presentado por:

Luis Alberto Boche Córdova

Aprobado:

Marcos A. Vega, M.G.A.
Asesor principal

Ernesto Gallo, M.B.A.
Director
Departamento de Administración de
Agronegocios

Wolfgang Pejuan, M. Sc.
Asesor

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

RESUMEN

Sagastume Cordón, J.F. 2007. Efecto del uso de estabilizadores en el rendimiento y características fisicoquímicas y sensoriales del queso crema Zamorano. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 50 p.

Resumen. El resumen es la expresión breve, fiel y clara del contenido del trabajo. El resumen debe ofrecer una síntesis del documento, de modo que los usuarios puedan decidir si les interesa consultar el documento completo. Debe incluir objetivos, ubicación, procedimientos, metodología, resultados y conclusiones. Este no debe tener más de 250 palabras y debe escribirse en espacio sencillo, sin separar el texto en párrafos. No debe mencionar cuadros, figuras, anexos ni citas bibliográficas. Se recomienda mostrar únicamente las cifras más importantes y evitar el uso de frases como: “se presentan los resultados de...”, “se discute la importancia de...”, ya que no le dan ninguna información útil al lector. A continuación del resumen deberá agregar de 3 a 6 **palabras clave**. Estas son palabras que se usan para la búsqueda del documento en base de datos. Deben ser palabras que no aparecen en el título, pero que describen el contenido del documento. Puede ser una sola palabra (Biodiesel, estabilizador, plaguicida) o una frase (Agricultura orgánica, coagulación enzimática, desarrollo rural) y deben aparecer en **orden alfabético**. Esto aparece en el ejemplo 4.

Palabras clave: Coagulación enzimática, hidrocoloides, rendimiento.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	
ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.	
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	
ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.	
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	
ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.	
4. CONCLUSIONES.....	
ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.	
5. RECOMENDACIONES	
ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.	
6. LITERATURA CITADA	
ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.	
7. ANEXOS.....	
ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.	

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Tabla de coeficientes de regresiones de variables.....	7
2. Escenario número 1.....	8
3. Escenario número 2.....	8
4. Escenario número 3.....	8
5. Medias de consumo de gas.....	9

Anexos	Página
1. Sintaxis de SPSS para la regresión de las variables.....	13
2. Formato para toma de datos de temperaturas diarias y radiación primedio.....	14
3. Formato para toma de datos de consumo diario de gas.....	Er
ror! Bookmark not defined.	

1. INTRODUCCIÓN

Este documento es un análisis comparativo en el área agrícola de cultivos protegidos bajo invernadero, específicamente del sector del tomate (*Lycopersicum esculentum*) de la empresa Centro de Investigación y Capacitación Koppert Rapel Sociedad Anónima, CEICKOR S.A. La empresa se encuentra ubicada a 45 kilómetros de Querétaro, México por la carretera a Bernal.

Las instalaciones de infraestructura y siembra del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*) bajo ambiente controlado se iniciaron en el año 2005 con 5,000 m², tecnología, estructura y manejo del cultivo procedente de Holanda. En la actualidad CEICKOR S.A. cuenta con 2,500 m² divididos en cuatro invernaderos. Dicha empresa se dedica a la capacitación de personal para empresas que se dedican a la producción de tomate (*Lycopersicum esculentum*), además de esto exporta su producción de tomate (*Lycopersicum esculentum*) a los Estados Unidos.

En el año 2011 se implementó un nuevo método de calefacción para los invernaderos basado en calefacción solar por medio de calentadores solares, con el fin de minimizar costos de calefacción ya que los mismos “representan el 60% del total de los costos de producción en CEICKOR S.A.” (Tarrats 2012). Otro factor de suma importancia para dicha implementación fue la adaptación de nuevas tecnologías en el agro mexicano para la capacitación de los empleados de la empresa.

Calefacción en invernaderos. Acorde con López (2000). El diseño de un sistema de calefacción tiene que procurar que el aporte de calor sea además de eficaz, eficiente. El calor se debe de distribuir de manera uniforme, minimizando los gradientes térmicos, tanto verticales como horizontales. Conociendo las pérdidas de calor del invernadero y el salto térmico ΔT (T^a invernadero – T^a exterior) a cubrir, podemos calcular la potencia a instalar. Para evitar sobredimensionar el sistema durante gran parte del período de funcionamiento, se suele tomar como temperatura de diseño la media de las mínimas para el período más frío de una serie histórica de años. En función de nuestras exigencias, ese período puede ser mensual, quincenal e incluso de un día.

Las mayores pérdidas de calor del invernadero se producen a través de las paredes y techo, las cuales dependen de las propiedades del material de cubierta (coeficiente de transmisión de calor) y de las pérdidas por infiltración (López y Col 2000) estrechamente ligadas al tipo de estructura de invernadero, fijación del material de cubierta y al mantenimiento del mismo (uniones, roturas, degradación del material, etc.).

Sistemas de calefacción de tipo convectivo. De acuerdo con López, J. (2000), son sistemas que el elemento conductor del calor es el aire. Debido a su poca inercia, proporcionan un aumento rápido de la temperatura del aire, enfriándose de igual forma al dejar de actuar.

Mediante el uso de tubos perforados próximos a las plantas, podemos mejorar la distribución del calor y aumentar la eficiencia del sistema. El coste de la instalación es inferior al de los sistemas por agua caliente, aunque la vida útil del sistema también es más corta. Entre los sistemas convectivos los más utilizados son: aerotermos, generadores de aire caliente de combustión indirecta y generadores de aire caliente de combustión directa. Los dos últimos son los que mayoritariamente se instalan en Almería:

- Generadores de aire caliente de combustión indirecta: mediante un cambiador de calor, se separan los gases de combustión expulsándolos al exterior, introduciendo únicamente aire caliente al invernadero. Dado que parte del calor es expulsado con los gases de combustión, el rendimiento de estas máquinas suele estar entre el 80% y el 90%.

- Generadores de aire caliente de combustión directa: tanto el aire caliente como los gases de combustión son incorporados al invernadero. El combustible a utilizar debe de contener el menor número posible de elementos tóxicos, siendo el propano y el gas natural los más recomendados. Es importante controlar los niveles de los gases de combustión para evitar problemas a personas y plantas. El rendimiento de la máquina se considera del 100 % al introducir también el calor que acompaña a los gases de combustión.

Sistemas de calefacción por conducción. De acuerdo con López, J. (2000), estos sistemas están diseñados para proporcionar una temperatura adecuada en la zona radicular. Desde una caldera central se aporta calor al suelo a través de tuberías enterradas, circulando el agua a temperatura inferior a 40 °C, siendo la distribución del calor uniforme y proporcionando mayor eficiencia que los sistemas por aire caliente. El elevado coste inicial y la dificultad para realizar labores en el suelo (al ir enterradas las tuberías a menos de 50 cm) han limitado el desarrollo de estos sistemas. En cultivos fuera de suelo, debido a su baja inercia térmica, la temperatura en la zona radicular se aproxima a la temperatura del aire, pudiendo en periodos fríos limitar el desarrollo de los cultivos. La fácil localización de los cambiadores de calor, bajo los sustratos o sobre los mismos, ha permitido su expansión en estos sistemas de cultivo.

Sistemas de calefacción por convección y radiación. De acuerdo con López, J. (2000), la transferencia de calor se realiza a través de tuberías aéreas o dispuestas sobre el medio de cultivo, por donde circula agua caliente, pudiendo trabajar a alta (hasta 90 °C) o baja temperatura (entre 30 °C - 50 °C) en función del material utilizado (metal ó plástico). En alta temperatura, la utilización de las tuberías metálicas como rafles, permite la incorporación de carros para prácticas culturales y aplicación de productos fitosanitarios, encaminados hacia una mayor eficiencia en el trabajo. Estos sistemas modifican la temperatura del aire, al calentarse por convección al contacto con los tubos, y la de los

objetos (suelo, planta, cubierta del invernadero, etc.) que se encuentran a su alrededor por intercambio radiactivo. La distribución del calor es más uniforme que en los sistemas por aire, al situar las tuberías cerca del cultivo y mantener unos gradientes térmicos bajos. En Almería hay instalados sistemas tanto a alta como a baja temperatura, siendo su número reducido por los mayores costes iniciales de la instalación.

Controles de mantenimiento. Para lograr un máximo rendimiento del insumo de gas en la producción de tomate es necesario llevar un control de mantenimiento a los calefactores. Es necesario revisar si cuentan con fugas de gas o con roturas en el sistema de calefacción por donde se puedan tener pérdidas de calor. Las revisiones no solo cubren el sistema de calefacción; también incluye revisión de las paredes, ventanas y techo del invernadero por donde se pueda estar perdiendo calor ya que esto exigiría más trabajo a los calefactores, y por lo tanto más insumo de gas.

Planteamiento del problema. El mercado tomatero se ha vuelto cada vez más competitivo y más exigente, las empresas se vuelven más eficientes reduciendo insumos en su producción implementando nuevas tecnologías y nuevos métodos de producción para maximizar sus ganancias y poder volverse cada vez más competitivas en el mercado.

“Los costos de calefacción representan el 60% de los costos de producción en CEICKOR S.A.” (Tarrats 2012). Es notorio que esto representa un alto porcentaje y que la calefacción es el insumo que se debe analizar y volver más eficiente.

Antecedentes. CEICKOR S.A. cuenta con el sistema de calefacción a base de aire caliente utilizando como fuente de calor la combustión de gas, desde su fundación en el año 2005, este sistema es originario de Holanda y es el método más común en sistemas de ambiente controlado. Dicho sistema utiliza hélices para la distribución de aire caliente y calentadores de aire alimentados por gas propano los cuales inflan las paredes del invernadero. El nuevo sistema implementado en uno de los invernaderos de la empresa funciona a base de agua caliente la cual utiliza un calentador solar tipo panel para calentar el agua y tubería distribuida en todo el invernadero donde circula el agua caliente; el calor del agua es transmitido al invernadero por conducción.

El sistema de calefacción a base de aire se encuentra funcionando en los cuatro invernaderos de CEICKOR S.A., En uno de los invernaderos con una superficie de 5,000 m² se implementó el nuevo sistema a base de agua caliente, los dos sistemas funcionan en conjunto en dicho invernadero.

Justificación del estudio. La importancia potencial del análisis comparativo de dos sistemas de calefacción en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*) bajo invernadero es determinar cuál es el sistema apropiado para la producción de tomate (*Lycopersicum esculentum*) de la forma más eficiente, reduciendo costos de producción

específicamente en el área de calefacción, ya que este aspecto representa el 60% de los costos de producción.

Limitantes:

- El estudio se realizó del mes de enero al mes de abril, estos meses son una época de temperaturas altas, por lo que no hay datos de todo el año.
- Debido a que es una empresa privada existen datos confidenciales.
- Los invernaderos cuentan con distintas extensiones en metros cuadrados, lo que dificulta tener observaciones estandarizadas.

Alcances. El presente es un estudio de caso y no un experimento, ya que no se hicieron repeticiones de los dos tratamientos analizados, solamente se tomaron datos de los invernaderos con los dos sistemas, operando en forma no controlada.

Objetivos:

- Determinar cuál de los dos métodos de calefacción analizados presenta mayores ahorros significativos en consumo de gas como fuente energética.
- Recopilar información primaria relevante de los dos sistemas estudiados.
- Establecer las diferencias significativas en ahorro de consumo de gas con base en el análisis de la información.
- Recopilar información primaria de clima diario en el área donde se encuentran los dos sistemas.
- Recomendar el sistema más beneficioso desde el punto de vista de consumo de gas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales:

- Centro meteorológico Priva
- Formatos para toma de datos en campo
- Medidores de presión para tanques de gas propano
- Termómetro

Métodos. El estudio se realizó en CEICKOR S.A. que se encuentra a una altitud de 1,970 m sobre el nivel del mar, la temperatura mínima anual promedio es de 11.14 grados Celsius y la máxima anual promedio es de 22.6 grados Celsius. Dicha empresa se encuentra en un clima semiseco templado rodeado de una zona ecológica desértica.

Para la recolección de datos se elaboraron dos formatos que se presentan en los cuadros 1 y 2, para llevar un control del consumo de gas en los cuatro invernaderos de la empresa. La hipótesis es que el consumo de gas propano será menor en el invernadero en el cual el sistema de calefacción empleado utiliza como fuente energética gas propano y energía solar en conjunto, versus el sistema que utiliza solo gas propano.

La toma de datos fue realizada de forma diaria, es decir, todos los días se tomaba el dato de consumo de gas propano de cada invernadero; cada quince días se llevaba a cabo el llenado de los tanques de todos los invernaderos de CEICKOR S.A.

La recolección de datos de temperaturas exteriores diarias y de radiación diaria fue tomada directamente del centro meteorológico Priva con el que CEICKOR S.A. cuenta. Para la recolección de estos datos se elaboraron diferentes formatos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al momento de realizar la comparación de los dos sistemas de calefacción en invernadero se determinaron tres variables, estas son: consumo diario de cada uno de los sistemas, temperatura promedio y radiación acumulada diaria por metro cuadrado de la zona.

Para cada sistema se tomó distinta cantidad de datos, ya que el sistema de calefacción basado en calentador solar y gas combinado esta implementado solamente en uno de los invernaderos y el sistema de calefacción basado solamente en gas esta implementado en tres invernaderos. Los invernaderos 1 y 2 cuentan con una extensión de 5,000 m² cada uno, estos invernaderos comparten el mismo tanque de suministro de gas, el invernadero 1 cuenta con el sistema de calefacción basados en calentador solar y en gas propano; el invernadero 2 cuenta con solamente el sistema de calefacción basado en gas propano. Los invernaderos 3 y 4 cuentan con una extensión de 7,500 m² cada uno, estos invernaderos cuentan con un tanque de gas propano individual como suministro del insumo. La toma de datos de consumo diario fue hecha de cada tanque suministrador de gas propano, para poder uniformizar los escenarios de áreas, se convirtieron los consumos diarios por invernadero a consumos diarios por metro cuadrado.

Se realizó una toma de datos por 70 días de los meses de enero, febrero y marzo. Se recolectaron datos de consumo de gas en los diferentes invernaderos, de temperatura exterior promedio y radiación acumulada por metro cuadrado. Al tener estos datos ordenados se realizó una regresión lineal para explorar y cuantificar la relación entre la variable dependiente consumo y las variables independientes que son temperatura y radiación solar, con el fin de comparar los dos sistemas. No se realizó un análisis de medias ya que en la recolección de datos de cada sistema se contaba con la limitante de tener diferentes cantidades de datos, ya que el sistema nuevo solo estaba implementado en un invernadero y el sistema tradicional en tres invernaderos. La diferencia de cantidad de datos nos proporcionaba un análisis de medias irreal.

Cuadro 1. Tabla de coeficientes de regresiones de variables.

Modelo	Coeficientes(a)				
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta	B	Error típ.
(Constante)	.248	.012		20.799	.000
Sistema solar y gas, sistema gas	-.057	.021	-.566	-2.734	.007
Radiación Joules por metro cuadrado	-2.97E-005	.000	-.312	-4.301	.000
Temperatura 24H	-.006	.001	-.390	-5.384	.000
SistemaXradiación	-1.15E-005	.000	-.205	-.964	.336
SistemaXtemperatura	-.002	.002	.307	1.061	.290

Consumo de Gas en el Sistema alimentado únicamente por gas. La regresión nos muestra que a una temperatura externa promedio de 0 °C y con una radiación acumulada promedio de 0 J/m², el consumo de gas propano en el sistema de calefacción alimentado únicamente por gas es de 0.248 L/m². Nos muestra que al aumentar una unidad en Joules de radiación acumulada por metro cuadrado y manteniendo la temperatura externa promedio en 0 °C, el sistema de calefacción alimentado por gas disminuye el consumo de 0.0000297 L de gas por metro cuadrado. Si la radiación se mantiene en 0 J/m² y la temperatura aumenta una unidad en grados centígrados, el sistema de calefacción disminuye el consumo de gas en 0.006 L de gas por metro cuadrado. Se debe tomar en cuenta que las probabilidades de que estos escenarios ocurran son muy bajas o nulas.

Consumo de gas en el sistema alimentado por gas y calentador solar. De la misma forma la regresión también nos muestra que a una temperatura externa promedio de 0 °C y una radiación acumulada promedio de 0 J/m², el consumo de gas propano en el sistema de calefacción alimentado por gas y por el calentador solar es de 0.191L/m². También nos indica que al aumentar una unidad en Joules de radiación acumulada por metro cuadrado y manteniendo la temperatura externa promedio en 0°C, el sistema de calefacción combinado por gas y calentador solar disminuye el consumo de 0.0000412 L de gas por metro cuadrado. Si la radiación se mantiene en 0 J/m² y la temperatura aumenta una unidad en grados centígrados, el sistema de calefacción combinado disminuye el consumo de gas en .008 L de gas por metro cuadrado. Se debe tomar en cuenta que las probabilidades de que estos escenarios ocurran son muy bajas ó nulas.

Comparación de resultados. Podemos comparar los resultados de ambos sistemas en los siguientes cuadros. Se observa un ahorro significativo en el sistema alimentado por gas y por calor del calentador Solar en conjunto.

Cuadro 2. Escenario número 1.

Escenario 1			
Sistema	Consumo lts/m ²	Radiación J/m ²	Temp 24Hr°C
Gas	0.248	0	1
Calentador solar y gas	0.191	0	1

En el primer escenario podemos observar una diferencia en el consumo de 0.057 L de gas por metro cuadrado entre los dos sistemas, el sistema alimentado únicamente por gas consume un 22.98% más que el sistema alimentado por gas y calentador solar.

Cuadro 3. Escenario número 2.

Escenario 2			
Sistema	Ahorro lts/m ²	Radiación J/m ²	Temp 24Hr°C
Gas	0.0000297	1	0
Calentador solar y gas	0.0000412	1	0

En el segundo escenario podemos concluir que existe una diferencia en el ahorro, entre los dos sistemas de 0.0000115 por cada unidad de radiación en Joules aumentada, el sistema alimentado por calentador solar y gas ahorra un 27.91% más que el sistema alimentado únicamente por gas propano.

Cuadro 4. Escenario número 3.

Escenario 3			
Sistema	Ahorro lts/m ²	Radiación J/m ²	Temp 24Hr°C
Gas	0.006	0	1
Calentador solar y gas	0.08	0	1

En el tercer escenario los dos sistemas muestran una diferencia en el ahorro de gas por cada unidad de temperatura en grados centígrados aumentada. El sistema alimentado por calentador solar y gas ahorra un 25% más que el sistema que utiliza como fuente energética únicamente el gas propano.

Cuadro 5. Medias de consumo de gas.

Sistema calentador y gas, sistema Gas	Consumo Sistemas		
	Media	N	Desv. típ.
Gas	.1116	140	.04286
Calentador y gas	.0655	70	.04016
Total	.0963	210	.04722

La media de consumo diario del sistema de calefacción tradicional fue de 0.1116 litros por metro cuadrado; la media de consumo por metro cuadrado del nuevo sistema implementado es de 0.0655, esto es una diferencia de 0.0461 litros por metro cuadrado entre un sistema y otro, el cual es equivalente a un 41.30% de ahorro en consumo.

4. CONCLUSIONES

- Con base en el informe de medias estimadas de los consumos de gas propano de cada sistema se determinó que el sistema combinado ahorra un 41.30% de gas con respecto al sistema que calienta solo con gas propano.
- Se concluye, con base en la regresión realizada con los datos de las variables recolectadas, que el consumo de gas propano en los dos sistemas se ve afectado principalmente por las variables independientes que son radiación solar y temperatura externa. También se determinó que radiación solar es la variable que más impacto tiene en el consumo de gas en ambos sistemas.
- En el sistema de calefacción alimentado por energía producida por la combinación de gas propano y calentador solar se ve más afectado el consumo de gas propano por las variables temperatura externa y radiación solar, esto es debido al impacto que estas variables tienen en el calentador solar.
- Se determinó que el sistema idóneo de calefacción para los invernaderos de CEICKOR S.A. es el sistema que combina la fuente de calor basada en calentador solar y en gas propano.

5. RECOMENDACIONES

- En base al análisis comparativo de los dos sistemas realizado se recomienda la implementación del nuevo sistema de calefacción basado en calentador solar y gas propano a todos los invernaderos de la empresa CEICKOR S.A. de México.
- Realizar la recolección de datos durante todos los meses del año para obtener más datos y realizar su análisis para obtener resultados más exactos.
- Aplicar un diseño experimental con repeticiones en cada sistema, con el fin de obtener información estadística más contundente para establecer diferencias significativas entre ambos sistemas, en caso de querer ampliar el estudio.

6. LITERATURA CITADA

Gijarati, D.N., Porter, 2010. Econometría. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. 921p.

López, J. et al. 2000. Influencia de la temperatura en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Calefacción en invernaderos. 53 p.

López, J. et al. 2000. Influencia de la temperatura en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Sistemas de calefacción por convección y radiación. 53 p.

López, J. et al. 2000. Influencia de la temperatura en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Sistemas de calefacción por conducción. 53 p.

López, J. et al. 2000. Influencia de la temperatura en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Sistemas de calefacción de tipo convectivo 53 p.

7. ANEXOS

Anexo 1. Sintaxis de SPSS para la regresión de las variables.

```
REGRESSION  
/MISSING LISTWISE  
/STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA  
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)  
/NOORIGIN  
/DEPENDENT Consumo  
/METHOD=ENTER Radiacion Temperatura SisXRad SisXTemp
```

/* Se realizó la regresión utilizando la variable consumo como independiente y las variables radiación solar y temperatura como independientes*/

Anexo 2. Formato para toma de datos de temperaturas diarias y radiación promedio.

Dia	Fecha	Temp 24H	Radiacion J/m2
S			
D			
L			
M			
M			
J			
V			
S			
D			
L			
M			
M			
J			
V			
S			
D			
L			
M			
M			
J			
V			
S			
D			
L			
M			

Anexo 3. Formato para toma de datos de consumo diario de gas.

Inv #		
Dia	Fecha	Consumo %
Total mes		