

# BOLETÍN DEL PROGRAMA NACIONAL SECTORIAL DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA BAJO AMBIENTES PROTEGIDOS

Año 7 (número 42)  
Setiembre-Octubre de 2013



- 2** Uso de modelos estáticos de balances de energía y masa, para simulación y control de clima en módulos de agricultura protegida
- 6** Evaluación preliminar de soluciones nutritivas comerciales para hortalizas de hoja en sistema hidropónico
- 10** Estructuras en bambú para agricultura protegida: una alternativa para el productor nacional
- 13** Principales actividades desarrolladas durante el bimestre
- 16** ANUNCIOS:
  - Encuentro Tecnológico: opciones productivas con uso eficiente del recurso hídrico
  - Curso Corto sobre Producción de Almácigos



# USO DE MODELOS ESTÁTICOS DE BALANCES DE ENERGÍA Y MASA, PARA SIMULACIÓN Y CONTROL DE CLIMA EN MÓDULOS DE AGRICULTURA PROTEGIDA

Alberto José López López  
[alberto.lopez@ucr.ac.cr](mailto:alberto.lopez@ucr.ac.cr)  
Carlos Benavides León

Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica

---

La tecnología de ambientes protegidos busca principalmente ofrecer oportunidades para los productores así como el incremento de la calidad y mejores rendimientos de cosecha. Un proyecto de este tipo requiere una gran inversión, planificación y diseño, a partir de los requerimientos del cultivo y la disponibilidad de recursos e información. En Costa Rica hay limitaciones en cuanto, por ejemplo, a disponibilidad de resúmenes históricos de variables meteorológicas de los diferentes microclimas, necesarios para el diseño de instalaciones agrícolas.

Normalmente, las instalaciones artesanales de agricultura protegida se construyen sin diseño previo y las instalaciones de alto grado tecnológico se importan de latitudes diferentes a la nuestra. Esto origina en muchas oportunidades, la utilización de estructuras no aptas para los cultivos o una mala administración de clima, lo que causa bajos rendimientos, que deviene en una disminución de ingresos para el productor.

Existe la necesidad de obtener formas de análisis o predicción del comportamiento del invernadero, bajo distintas condiciones climáticas, en función de los requerimientos del cultivo. En la Escuela de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Costa Rica, se están llevando a cabo investigaciones con modelos estáticos computarizados, utilizando ecuaciones de balance energético y de masa, que permiten predecir las condiciones climáticas dentro de un invernadero.

Los modelos estáticos interpretan la realidad en un instante determinado por medio de ecuaciones matemáticas y parámetros definidos para estas ecuaciones. Se obtiene un resultado para una serie de condiciones fijas, que no cambiarían significativamente en un periodo de tiempo.

Para simular las condiciones internas de un invernadero, se modelan las ecuaciones correspondientes a los procesos de transferencia de calor y masa en un ambiente protegido. El modelo utilizado, presupone que el ambiente interno del invernadero es homogéneo para el momento analizado. También, asume que toda la energía entrante del volumen analizado (aire dentro del invernadero) es igual a la energía saliente.

Los mecanismos de ganancia de calor en el ambiente protegido, involucran la energía transmitida por el sol, la energía proveniente del cultivo por medio del proceso de respiración, y el calor emitido por los equipos dentro de la instalación. El invernadero pierde energía por medio de la conducción del calor (a través de las paredes y hacia el suelo), la ventilación (calor sensible retirado a través de las ventanas y calor sensible convertido en latente por medio de la evaporación), la energía utilizada por las plantas para la fotosíntesis y la irradiación (energía de radiación transmitida a la atmósfera por la superficie del instalación) En la siguiente figura, se puede observar un diagrama de los procesos

de ganancia y pérdida de calor involucrados en el balance de energía de un ambiente protegido.

Como herramienta facilitadora, estos modelos computarizados se utilizan para predecir el comportamiento de las condiciones climáticas dentro de la instalación.

El conocimiento de la dinámica del clima interno de un ambiente protegido, identificando las variables, permite definir la viabilidad técnica del cultivo bajo invernadero, en una zona determinada del país.

Se pueden utilizar para diseñar de manera adecuada una instalación de ambiente protegido. Analizando térmicamente

una instalación por construir, se podrán hacer cambios en el diseño estructural, como por ejemplo, mayor área de ventanas o su colocación de acuerdo con los vientos predominantes.

Al estudiar el comportamiento térmico de un ambiente protegido, se pueden conocer las condiciones ambientales críticas, tales como los periodos en que la temperatura o humedad relativa dentro de la instalación es o no es óptima para el cultivo. Conociendo estos periodos, se logran mejoras en términos de administración de clima y dimensionamiento de equipos que aseguren un buen clima interno.

En la Escuela de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Costa Rica, se promueve la investigación de estos modelos. Mediante un trabajo de "Validación de un modelo matemático para predecir las condiciones climáticas internas

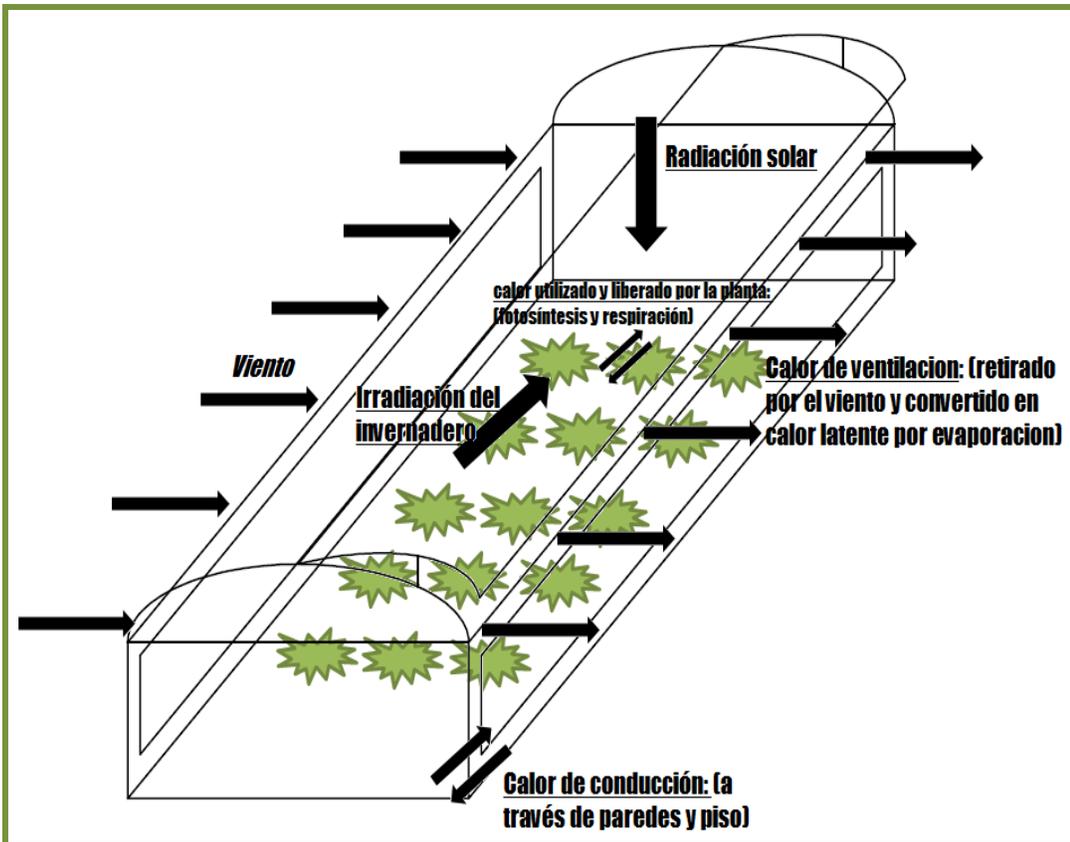


Figura 1: Intercambio de energía entre el ambiente y el aire en el interior del invernadero. Fuente: Autores

Los datos climatológicos de entrada utilizados por el modelo son: la temperatura externa ( $^{\circ}\text{C}$ ), humedad relativa externa (%), radiación solar ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), dirección predominante del viento y velocidad de viento ( $\text{m}/\text{s}$ ). El modelo toma en cuenta las características geométricas del invernadero, el área de aberturas, las propiedades térmicas y ópticas de los materiales de cerramiento y las características del cultivo. Los datos de salida son la temperatura promedio ( $^{\circ}\text{C}$ ) y humedad relativa promedio (%) simulada y los valores de los diferentes calores involucrados en el balance energético.

de un invernadero localizado en el Valle Central de Costa Rica” (López, 2013), se realizó la validación de un modelo matemático para predecir las condiciones climáticas en un invernadero localizado en la zona norte de Cartago.

Se desarrolló una programación de las ecuaciones de balance energético y masa en una hoja de cálculo, utilizando los datos externos de temperatura, humedad relativa, radiación, dirección de viento y velocidad de viento. Los datos de salida son la temperatura y humedad relativa interna del invernadero.

El modelo contó con dos módulos de resolución para paquetes de entrada individuales y series completas de datos de entrada. Los resultados del modelo se compararon con valores medios internos medidos, para su calibración y validación.

El estudio se realizó en las instalaciones de la Corporación Hortícola Nacional, provincia de Cartago, cantón de Oreamuno, zona de La Chinchilla (N 09°53'02.5" - O 083°53'52.1"), ubicada a una altura aproximada de 1638 m.s.n.m., entre el 8 de junio y el 28 de julio del año 2011. El análisis se realizó utilizando promedio de temperatura y humedad relativa en un intervalo diurno, que incluye desde las 10:00 horas hasta las 13:00, y para un intervalo nocturno, que incluye desde las 00:00 horas hasta las 05:00 horas.

Los valores internos de temperatura y humedad relativa utilizados para la calibración y validación del modelo, se midieron usando 48 sensores de temperatura y humedad relativa, distribuidos uniformemente en una cuadrícula de cuatro sensores en dirección longitudinal, por cuatro en dirección transversal, por tres niveles en dirección vertical.

Se utilizó la información climatológica de la estación externa, obtenida del análisis estadístico de intervalos críticos y los datos de entrada requeridos para correr el modelo computarizado y se comparó con la información obtenida del mismo análisis, aplicado a los sensores internos.

La variación promedio en el intervalo diurno de la serie de datos entre las temperaturas simulada y la medida fue de 0,64°C, con una variación máxima el día 19 de junio, de 1,86°C. La variación promedio de humedad relativa fue de 2,81%, con una variación máxima de 8,24% para el día 24 de junio. Las siguientes figuras muestran los valores medidos de temperatura y humedad relativa externa e interna, y los valores simulados de temperatura interna.

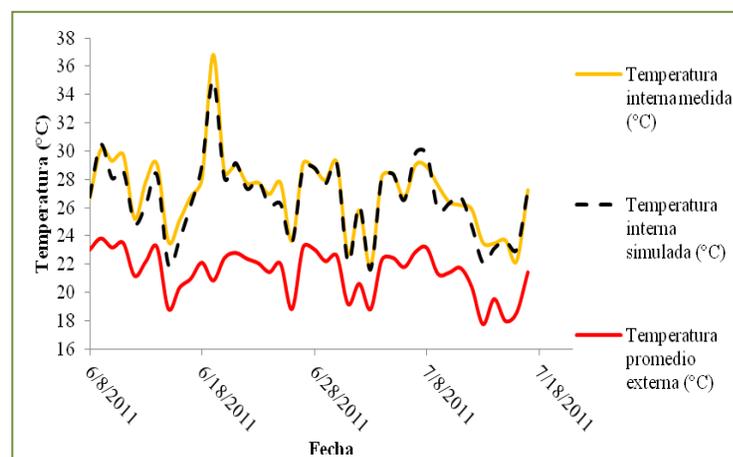


Figura 2. Temperaturas medidas y temperaturas simuladas de los días para el intervalo diurno. Fuente: López, 2013

El modelo estudiado y el programa propuesto, son herramientas de apoyo para el análisis de las condiciones necesarias para la producción en invernaderos, bajo condiciones climáticas de la zona Norte de Cartago, Costa Rica. Como herramienta, es de aplicación al diseño de este tipo de instalaciones y para simular su respuesta climática, previo a realizar una inversión.

Como parte del proyecto “Evaluación del comportamiento de los parámetros térmicos y estructurales que rigen el diseño de invernaderos para su adaptación a las condiciones agroclimáticas en el país”, Proyecto No. B 0248-041 inscrito en setiembre del año 2010 en la Vice-rectoría de Investigación de

Universidad de Costa Rica por la Escuela de Ingeniería Agrícola, se realizó una evaluación del comportamiento de variables ambientales y un análisis de necesidades de equipamiento de un invernadero localizado en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, utilizado para la investigación.

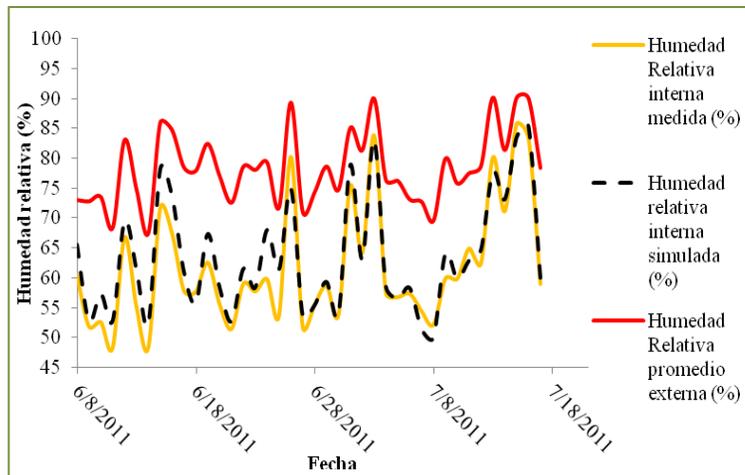


Figura 3. Humedades relativas medidas y humedades relativas simuladas de los días para el intervalo diurno. Fuente: López, 2013

Con información de un periodo de cuatro meses se calibró un modelo estático, que permite predecir la temperatura y humedad relativa internas, considerando las condiciones ambientales externas como radiación, temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección de viento.

Las variables ambientales se compararon con las variables óptimas recomendadas en la literatura, para los cultivos de chile dulce (*Capsicum annuum*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y melón (*Cucumis melo*). Para los periodos que el invernadero no provee las condiciones óptimas requeridas para estos cultivos, se analizaron diferentes alternativas de equipamiento que permitan un ambiente óptimo.

Se generaron escenarios según condiciones críticas externas, condiciones de área cultivada del

invernadero y temperatura interna, para obtener la carga térmica resultante del invernadero. Al comparar la climatología encontrada en la instalación con los óptimos recomendados en la literatura, se concluyó que la instalación, bajo las condiciones en que se opera, es adecuada para el cultivo del melón, en menor condición para el chile y está fuera de rango en ciertas épocas del año para el tomate.

Se hizo un análisis del equipo y mejoras que podrían realizarse a la instalación, para que los tres cultivos mencionados puedan desarrollarse en el rango óptimo recomendado. Los casos en los cuales se trabajaron alternativas de equipamiento fueron aquellos en los cuales se consideró una temperatura objetivo interna del invernadero de 25°C, con solo 20% de área cultivada, de acuerdo con las condiciones de temperatura máxima absoluta y temperaturas máximas diarias del mes de abril.

Se concluyó que para obtener condiciones más cercanas a las óptimas dentro de la instalación, se necesita: cultivar un área grande (alrededor de 80% del área del invernadero), colocar una pantalla termo-reflectiva de 50% de sombreo, incluir un sistema de enfriamiento (nebulización o de colchón húmedo) evaporativo, y colocar cortinas móviles en las paredes norte y sur del invernadero.

Los resultados obtenidos demuestran que es posible predecir, con un grado de exactitud razonable, la respuesta térmica de un invernadero y la ubicación adecuada, para el o los cultivos deseados, antes de hacer la inversión. La metodología también es aplicable para evaluar invernaderos existentes, como el segundo caso de análisis y valorar la factibilidad técnica para implementar mejoras en el diseño y el equipamiento, para alcanzar las condiciones óptimas requeridas para cultivos específicos.



# EVALUACIÓN PRELIMINAR DE SOLUCIONES NUTRITIVAS COMERCIALES PARA HORTALIZAS DE HOJA EN SISTEMA HIDROPÓNICO.

**Fernando Richmond Zumbado**

Programa de Hortalizas, Universidad de Costa Rica

[fernando.richmond@ucr.ac.cr](mailto:fernando.richmond@ucr.ac.cr)

El factor nutricional en los cultivos es uno de los aspectos fundamentales para el óptimo desarrollo y excelencia en la calidad de los productos, al fortalecer la estructura celular de la planta y reducir la incidencia de fitopatógenos. Por ello es importante que el productor se asegure de que la concentración de nutrimentos en los fertilizantes utilizados correspondan a lo indicado en la etiqueta, ya que si esto no es así, se puede incurrir en una aplicación deficiente o excesiva de nutrimentos al cultivo, por lo que conlleva a un irregular desarrollo de la planta y a una baja en su rendimiento.

Por esta razón y con el apoyo de la Fundación para la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (FITTACORI) se realizó un trabajo en la Estación Experimental Fabio Baudrit de la Universidad de Costa Rica para identificar la calidad de las soluciones nutritivas comerciales evaluadas y conocer cuál de ellas se podría adaptar mejor en tres cultivos de hoja (apio, cebollino y lechuga), debido a que la información en este tema es escasa en estos cultivos.

## **Evaluación del Experimento.**

El experimento se evaluó en dos fases: campo y poscosecha. La evaluación en campo se realizó de junio a agosto de 2012. Se trasplantaron plántulas de apio Premium, cebollino Natsuyo Verde y lechuga Lucy Brown, a una densidad de siembra de 25 plantas/m<sup>2</sup> para apio y lechuga, y 100 plantas/m<sup>2</sup> para cebollino; en bancales de diez metros de longitud, un metro de ancho y diez centímetros de

profundidad, con una altura de trabajo de un metro; con cinco cintas de goteo distanciadas 20 centímetros, conectadas a una llave de paso y un regulador de presión; además se utilizaron techos plásticos individuales (por bancal) en forma de túnel.

La aplicación de las soluciones nutritivas comerciales (H-1, H-2 y H-3) se hizo según la dosis recomendada en la etiqueta de cada producto, que fue un litro de solución nutritiva en 200 litros de agua. Se aplicaron aproximadamente 3,7 litros de solución diluida por metro cuadrado por día.

Las variables evaluadas en 10 plantas por tratamiento al momento de la cosecha fueron:

- altura de planta (cm) medido de la base del tallo hasta la punta de la hoja más larga (sólo apio y cebollino),
- grosor de tallo (mm) medido en la base de la planta (sólo apio y lechuga),
- número de hojas (sólo apio y lechuga),
- número de plantas (sólo cebollino),
- diámetro de cabeza (cm), colocando un lado de la cabeza sobre una mesa y del otro una tabla (utilizada para toma de datos) sin hacer presión, para luego medir (sólo lechuga),
- peso fresco aéreo (g).

La evaluación poscosecha se realizó de julio a setiembre del 2012, en el Laboratorio de Tecnología Poscosecha de la Universidad de Costa Rica. En el laboratorio, las plantas de apio y cebollino fueron envueltas con periódico

humedecido y, para las plantas de lechuga se utilizaron bolsas de polipropileno con 16 perforaciones, ocho en cada cara. Se evaluaron plantas con y sin raíz (para apio sólo sin raíz) y se colocaron dentro de una cámara a una temperatura de 5 °C durante 21 días, durante los cuales se realizaron siete evaluaciones para apio y cebollino y cuatro evaluaciones para lechuga. La cantidad de plantas por tratamiento fueron, para lechuga 10 plantas (cinco con raíz y cinco sin raíz), para cebollino 20 plantas (10 con raíz y 10 sin raíz) y para apio 20 plantas (todas sin raíz).

Las variables poscosecha evaluadas fueron:

- pérdida de peso (%) y
- firmeza, calidad, daños y pudriciones, mediante la siguiente escala visual.

Para el análisis estadístico se utilizó la prueba t para estimar la diferencia entre las medias.

### Resultados obtenidos.

En el cuadro 1 se observa una falta de correspondencia para casi todos los nutrientes entre la concentración real y lo declarado. Este desfase tiende por lo general hacia la disminución y osciló entre 1 y 64% entre los contenidos de nutrientes de la misma solución nutritiva; la solución identificada como H-1 fue la

de mayor variación. Como ejemplo se puede indicar el caso del fósforo y el magnesio.

Por otra parte pueden observarse importantes diferencias en las concentraciones de cobre, hierro, manganeso y sodio. En la solución H-2 fue particularmente llamativa la elevada concentración de azufre.

Al analizar el cuadro 2, se observa que las dosis aplicadas de solución nutritiva comercial no coinciden con lo requerido por el cultivo para una misma edad de planta.

El nitrógeno y el potasio son los nutrientes que menos variación presentan, excepto para el caso del cebollino, que podría variar ya que se utilizó como referencia el requerimiento de cebolla. Para el cultivo apio, la solución H-3 aportó una tercera parte más del nitrógeno requerido y una quinta parte menos de potasio, y por otro lado la solución H-2 contiene 16 veces más fósforo y tres veces más calcio. En el caso de lechuga la solución H-3 aportó 68% más nitrógeno, la solución H-2 1.900% más fósforo, la solución H-1 36% más potasio y la H-3 726% más calcio.

Cuadro 1. Concentración de nutrientes según información de la etiqueta y del análisis de laboratorio.

Información de la etiqueta													
Código	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	B	Mo	Na	Zn	Mn
H-1 (1)	16240	25872	71568	0	17584	14448	0	0	44,8	0	0	89,6	0
H-1 (2)	53179	0	0	48043	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	69419	25872	71568	48043	17584	14448	0	0	44,8	0	0	89,6	0
H-2 (1)	30000	20680	49800	11360	8100	0	0	0	0	0	0	0	0
H-2 (2)	0	0	0	0	3300	2900	17	1	20	2	0	200	23
Total	30000	20680	49800	11360	11400	2900	17	1	20	2	0	200	23
H-3 (1)	13000	10296	51875	0	4620	6200	0	0	0	0	0	0	0
H-3 (2)	0	0	0	0	0	0	105	48	25	0,7	0	67	106
H-3 (3)	24800	0	0	30400	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	37800	10296	51875	30400	4620	6200	105	48	25	0,7	0	67	106

Análisis del laboratorio													
Código	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	B*	Mo*	Na	Zn	Mn
H-1 (1)	13042	11110	44884	107	8259	10533	150	62			824	70	236
H-1 (2)	18974	3	39	22617	15	415	0	0			19	20	0
Total	32015	11113	44924	22723	8274	10948	150	62			843	90	236
H-2 (1)	27769	21312	44600	11223	7243	803	10	4			539	11	6
H-2 (2)	85	0	118	45	17140	22113	1006	437			428	336	439
Total	27855	21312	44718	11268	24383	22916	1016	440			967	347	445
H-3 (1)	10669	7190	30574	862	5647	7212	2	1			262	8	2
H-3 (2)	116	0	130	75	28	619	170	130			20	237	387
H-3 (3)	22064	3	52	25189	201	437	0	0			5	4	1
Total	32849	7193	30755	26126	5876	8268	172	131			287	249	391

\* No determinado en laboratorio.  
Los números entre paréntesis corresponden a las soluciones madre A (1), B (2) y C (3).

Todas las soluciones comerciales, aplicadas según recomendación, estarían aportando cantidades superiores a las requeridas por el cultivo, salvo para el potasio en la solución H-3 para apio y lechuga.

El comportamiento poscosecha de los cultivos, con respecto a las soluciones nutritivas comerciales utilizadas fue errático durante las diferentes fechas de evaluación; pero de manera general se comportaron de forma similar a lo obtenido en campo; es decir, las soluciones nutritivas que presentaron los mejores resultados en campo para cada cultivo fueron las que rindieron mejores valores en la etapa poscosecha.

Cuadro 2. Cantidad de nutrimento aplicado durante el ciclo del cultivo.

Apio													
Cantidad	ddt*	mg/m <sup>2</sup> /ciclo											
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	B	Na	Zn	Mn
Requiere cultivo	70	31292	1613	50976	8224	2375							
Aplicado H-1	70	41460	14392	58176	29427	10715	14178	195	80	0	1092	116	305
Aplicado H-2	70	36072	27599	57910	14592	31575	29676	1316	570	0	1252	450	577
Aplicado H-3	70	42539	9315	39828	33833	7610	10707	223	169	0	372	322	506

\* ddt: días después del trasplante. Se trasplantó 25 plantas por m<sup>2</sup>.

Cebollino													
Cantidad	ddt*	mg/m <sup>2</sup> /ciclo											
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	B	Na	Zn	Mn
Requiere cultivo**	74	24131	695	19422	5019	1749	731	255	8	10		12	26
Aplicado H-1	74	43829	15214	61501	31108	11328	14988	206	85	0	1154	123	323
Aplicado H-2	74	38133	29176	61219	15425	33380	31372	1391	603	0	1324	475	610
Aplicado H-3	74	44970	9847	42104	35766	8045	11318	236	179	0	393	340	535

\* ddt: días después del trasplante. \*\* Se utilizó el requerimiento de cebolla. Se trasplantó 100 plantas por m<sup>2</sup>.

Lechuga													
Cantidad	ddt*	mg/m <sup>2</sup> /ciclo											
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	B	Na	Zn	Mn
Requiere cultivo	28	10096	550	17478	1638	462	481	40	0,5	5		8	33
Aplicado H-1	28	16584	5757	23271	11771	4286	5671	78	32	0	437	46	122
Aplicado H-2	28	14429	11039	23164	5837	12630	11870	526	228	0	501	180	231
Aplicado H-3	28	17016	3726	15931	13533	3044	4283	89	68	0	149	129	202

\* ddt: días después del trasplante. Se trasplantó 25 plantas por m<sup>2</sup>.

En el caso de elementos menores puede observarse que en lechuga la solución H-2 ofrece aportes muy elevados en hierro, cobre, zinc y manganeso.

En el cuadro 3 se observa que para el cultivo apio, la solución nutritiva comercial que dio los mejores resultados fue H-3. En el caso de cebollino, también la solución H-3 ofreció los mejores resultados; en otras variables no hubo diferencia entre los valores de las medias. Para el caso de lechuga sin embrago, la solución H-2 se comportó como la mejor alternativa; el grosor de tallo y diámetro de cabeza no presentaron diferencia en los valores medios para las distintas soluciones.

#### Gasto Relativo.

En el cuadro 4 se aprecia el gasto relativo en nutrición relacionado con los ingresos por metro cuadrado. Se evidencia valores que van de 18,3 hasta casi 200%. En apio las soluciones H-1 y H-2 consumirían al menos el 91% de los gastos en producción, pero solamente en fertilizante sin contar el resto de los rubros. Así solo la solución H-3 se encontraría en una posición de confort para el productor. En el cebollino, dado sus mayores ingresos por metro cuadrado, las tres soluciones podrían ser económicamente viables, pero es evidente que la solución H-3 ofrece menores costos. Para lechuga la mejor solución sería H-3 pero consumiendo el 75% del precio de venta del producto final.

Cuadro 3. Valores de las variables evaluadas, donde se presentó diferencia.

Cultivo	Variable	Solución nutritiva		
		H-1	H-2	H-3
Apio	Altura planta (cm)	64,89	61,66	<b>70,84</b>
	Grosor tallo (mm)	31,48	33,32	<b>43,42</b>
	Número hojas	19,80	17,20	18,10
	Peso fresco aéreo (g) <sup>1</sup>	342,70	<b>459,00</b>	<b>492,40</b>
Cebollino	Altura planta (cm)	89,74	92,70	89,16
	Número plantas	4,40	4,20	4,20
	Peso fresco aéreo (g) <sup>2</sup>	171,60	175,20	<b>210,90</b>
Lechuga	Grosor tallo (mm)	14,36	13,61	14,12
	Número hojas	23,10	<b>26,90</b>	23,70
	Diámetro cabeza	14,89	16,60	15,54
	Peso fresco aéreo (g)	299,50	<b>417,50</b>	341,30

<sup>1</sup> H-2 y H-3 son iguales y mejores que H-1.  
<sup>2</sup> H-3 mejor que H-2.  
 Los valores en negrita representan las mejores soluciones nutritivas para cada variable, según prueba *t*.

Cuadro 4. Gasto relativo (%) de la nutrición según producto.

Cultivo	Unidades/m <sup>2</sup>	Ingreso/m <sup>2</sup> (en colones)*	Soluciones	Costo de la solución/m <sup>2</sup> (en colones)	Gasto relativo en nutrición (%)
Apio	25	9065	H-1	9583	105,71
			H-2	8214	90,61
			H-3	3751	41,38
Cebollino	100	20500	H-1	9583	46,75
			H-2	8214	40,07
			H-3	3751	18,30
Lechuga	25	5000	H-1	9583	191,66
			H-2	8214	164,28
			H-3	3751	75,02

\* Precios: Apio €740 kg como plantas de 0,49 kg; cebollino €205/rollo y lechuga €200/unidad.

### Conclusiones y/o recomendaciones.

Se ha demostrado que las soluciones nutritivas comerciales no siempre contienen las concentraciones indicadas en las etiquetas, lo cual va en contra de la ética en las prácticas comerciales y por supuesto, en contra de las finanzas y los esfuerzos de los productores. El productor debe adquirirlas en casas comerciales responsables y de ser posible, hacer un análisis de contenidos, pues su actividad, técnica y financieramente, podría depender de ello.

Las soluciones comerciales son de aplicación general y no están sujetas a los requerimientos de un cultivo en particular. El productor y el técnico, deberán realizar acciones que mejoren el balance entre elementos de acuerdo con el cultivo y su desarrollo, mediante pruebas de pequeña escala para ajustar detalles. La veracidad sobre el contenido del producto comercial, debe darse mediante información legible y uniforme en las etiquetas de los productos comerciales.

De acuerdo con ello entonces, lo ideal es preparar personalmente las soluciones con base en materiales puros; esto asegurará la calidad de la nutrición que se brinda al cultivo, la aplicación de la experiencia previa (en tanto, respuesta del cultivar, estacionalidad y demás), así como una importante reducción en los costos de producción.

Se establece la necesidad de realizar investigación para conocer los requerimientos nutricionales de cultivos de ciclos cortos, en especial cuando se ha evidenciado el efecto de los costos de la nutrición sobre la actividad productiva.

El manejo nutricional realizado en el campo debería reflejarse en la etapa poscosecha, por eso la importancia en la precisión de los contenidos de nutrimentos por aplicar al cultivo. En esta experiencia ello no fue evidenciado suficientemente ya que había excedentes de casi todos los elementos y aún la solución de más bajas concentraciones, permitió generar producto en cantidad y calidad esperadas.

# ESTRUCTURAS EN BAMBÚ PARA AGRICULTURA PROTEGIDA: UNA ALTERNATIVA PARA EL PRODUCTOR NACIONAL

**Josué Durán Navarro**

Ingeniero Agrícola, Universidad de Costa Rica

[nduraned@hotmail.com](mailto:nduraned@hotmail.com)

La producción agrícola bajo ambientes controlados, trae consigo una serie de beneficios tanto para el cultivo como para quien lo produce. Reducir la aplicación de químicos, brindar a la planta el ambiente idóneo para su desarrollo, optimizar el área de cultivo, son solo algunos de los beneficios que brinda la producción agrícola bajo ambientes protegidos. Sin embargo, muy pocos productores tienen acceso a tecnología que les permita llevar a cabo sus producciones de manera controlada y más eficiente, debido a la inversión inicial que esto representa.

Tradicionalmente se ha utilizado el hierro, como material de construcción para los ambientes protegidos, sin embargo existen materiales alternativos, tales como el bambú, cuya huella de carbono y costo de material por metro cuadrado, es mucho menor, en comparación con el hierro.

## El bambú

Más de 1200 especies de Bambú han sido identificadas en todo el mundo. Es una hierba gigante que se clasifica botánicamente en la familia Poaceae, que anteriormente se denominaba Gramineae.

Se desarrolla en altitudes de entre 0 y 2800 msnm, siendo más abundante y diverso por debajo de los 1500 msnm, con temperaturas de entre los 20 y 26 ° C,

precipitaciones superiores a los 1300 mm y una humedad relativa del 80%; es de suma importancia considerar que según la ubicación y las características geográficas del sitio de crecimiento de la planta, las propiedades físicas y mecánicas del bambú, varían.

## Propiedades mecánicas del bambú: especie *Guadua angustifolia*

En 1991, se realizó en Costa Rica la evaluación de las propiedades mecánicas del bambú de la variedad *Guadua angustifolia*, proveniente de dos zonas del país, Zona Atlántica y Zona Sur, estudio realizado por el Ing. Jaime Sotela. Se valoraron propiedades como el Módulo Ruptura, Esfuerzo al Límite Proporcional, Módulo Elasticidad en flexión, Esfuerzo de Compresión, Módulo Elasticidad en Compresión y Esfuerzo cortante (cuadro 1).

Cuadro 1. Resumen de resultados de ensayos mecánicos (Sotela, 1991).

Propiedad (kg/cm <sup>2</sup> )	Atlántico		Sur	
	Promedio	Desv. Estándar	Promedio	Desv. Estándar
Módulo de ruptura	757	125	1113	140
Esfuerzo límite proporcional	669	180	926	102
Módulo elasticidad en flexión	236743	61349	277689	46157
Esfuerzo de compresión	426	90	450	60
Módulo elasticidad en compresión	192191	27321	176104	45102
Esfuerzo cortante	63	14	75	10

Con los esfuerzos últimos obtenidos por Sotela, se calcularon las resistencias nominales del bambú; la resistencia nominal es la resistencia utilizada en el diseño, en la cual la variación y tamaño de las muestras es tomada en cuenta. El cálculo se realizó siguiendo la metodología presente en la Norma ASTM D5457-12 (2012), para el cálculo de la resistencia nominal para madera (cuadro 2).

Cuadro 2. Resistencia nominal,  $R_n$ , para cada tipo esfuerzo  $E_n$  en  $\text{Kg por cm}^2$ .

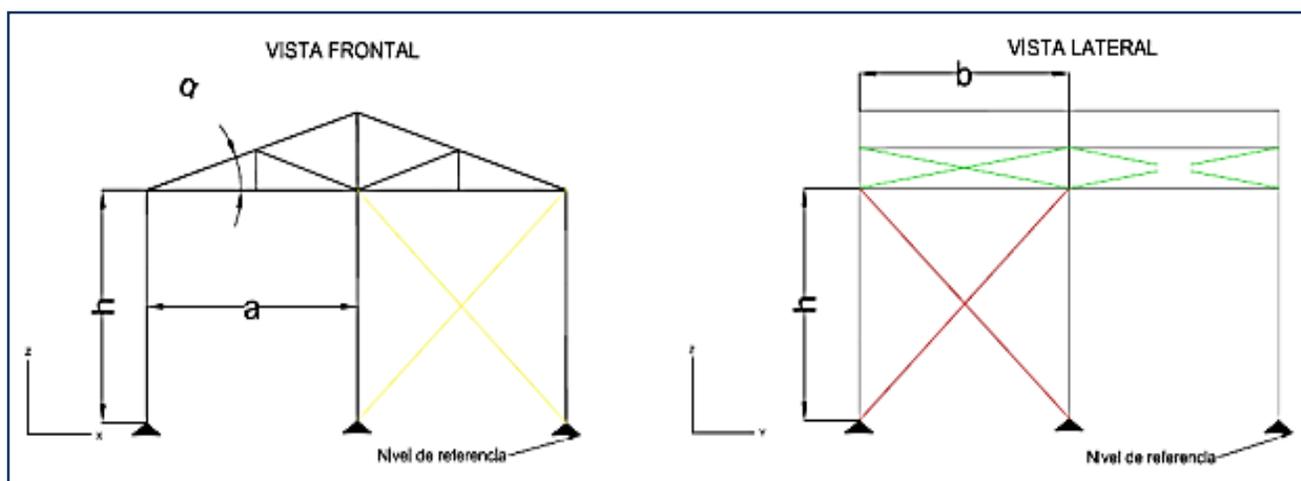
Tipo de esfuerzo	E	ELP	MOR	$\sigma_c$	$\sigma_{cort}$	$\sigma_t$
$R_n$	186952	518	654	478	50	1 107

Fuente: Autor

#### Consideraciones en el diseño de la estructura.

El sistema evaluado consiste en una estructura a dos aguas con pendiente de techo  $\alpha=25^\circ$ , luz de los marcos transversales  $a=6m$ , separación entre marcos  $b=3m$  y altura a canoa  $h=3m$  (figura 1). En cuanto al cerramiento, se valoraron estructuras cerradas, parcialmente cerradas y abiertas, puesto que el cerramiento repercute en la magnitud de la presión ejercida por el viento sobre la estructura.

Figura 1. Dimensionamiento en análisis.



Fuente. Autor

#### Cargas que afectan a la estructura

Como cargas que afectan a la estructura, se entienden como todas aquellas masas que afectan a la estructura, ya sea permanente u ocasionalmente. En la valoración realizada se consideraron las cargas muertas o permanentes (CM), cargas vivas o temporales (CV), carga debido al viento (V) y carga debido al sismo (S).

##### Carga muerta

Se consideró el peso de la estructura, tomando en cuenta el volumen aproximado de material utilizado y la densidad del bambú,  $770 \text{ kg/m}^3$ , según Sotela. Además, se consideró un peso de  $7 \text{ kg/m}^2$ , aportado por tuberías y equipos tales como abanicos y calentadores, entre otros, según la Normativa Europea (EN 13031-1, 2001). que rige la construcción de invernaderos en este continente.

##### Carga viva

Para efectos de montaje, desmontaje y mantenimiento, se consideró la presencia de tres operarios, de  $100 \text{ kg}$  cada uno, sobre la estructura, así como un peso aproximado de  $10 \text{ kg/m}^2$ , aportado por el cultivo bajo un sistema tutorado de siembra, según la NGMA (2004).

##### Carga debido al viento

El cálculo se realizó, tomando referencia la norma, Cargas mínima de diseño para edificios y otras estructuras (ASCE/SEI 7-10, 2010).

La evaluación se realizó para una velocidad de viento de  $V=100\text{km/h}$ , correspondiente a un periodo de retorno de  $PR=50$  años, con una probabilidad de excedencia de aproximadamente  $p=39\%$  y una vida útil de la estructura de  $N=25$  años. Con esto, se obtuvieron presiones críticas de  $45\text{ kg/m}^2$  hacia la estructura y de  $39\text{ kg/m}^2$  desde la estructura, cargas presentes en la estructura parcialmente cerrada con el viento incidiendo transversal a la estructura.

### Carga debido al sismo

La carga debido al sismo se evaluó tomando como referencia el Código Sísmico de Costa Rica, versión 2010.

Se utilizó como referencia *zona sísmica III (Barrio San José, Alajuela)* y una cimentación tipo  $S_3$ , para un sismo severo, con un periodo de retorno de  $PR=500$  años, con una probabilidad de excedencia  $p=10\%$ , y una vida útil de la estructura de  $VU=50$  años.

### Combinación de cargas, diseño y análisis

Idealizadas las cargas, se llevó a cabo el análisis y diseño de la estructura. La simultaneidad de las cargas, se consideró combinándolas, según lo establece el método de Cargas y Factor de Resistencia de Diseño o LRFD (ASCE/SEI 7-10, 2010).

A pesar de haber considerado el sismo como *severo*, las cargas debido al viento rigen el diseño de la estructura propuesta.

Se obtuvieron secciones de bambú de entre  $4$  y  $10\text{ cm}$  de diámetro externo, las cuales son técnicamente viables, puesto que dicho material está disponible hasta en diámetros externos de  $15\text{ cm}$ .

### Costo del material

En el mercado, el costo del bambú debidamente inmunizado en promedio es de  $\$1300/\text{kg}$ , para elementos de entre  $2$  y  $16\text{ cm}$  de diámetro externo, en longitudes de  $6\text{ m}$ . En cuanto al Hierro Galvanizado el costo en el mercado es de aproximadamente  $\$945/\text{kg}$ .

Por otra parte, según el estudio realizado por Acuña, un invernadero de condiciones similares al evaluado en bambú, requiere una cantidad promedio de acero de  $25\text{ kg/m}^2$ , mientras que la estructura en bambú, requiere aproximadamente  $7\text{ kg/m}^2$ , obteniendo una diferencia importante en cuanto al precio de material por metro cuadrado (cuadro 3).

Cuadro 3. Costo de materiales por metro cuadrado de construcción en HG y bambú.

Material construcción	¢/kg	Kg/m <sup>2</sup>	¢/ m <sup>2</sup>
Hierro Galvanizado	945	25	24 000
Bambú	1 300	7	9 000

Fuente: Autor

### Conclusiones

El bambú es una alternativa económica como material de construcción de ambientes protegidos, en comparación con el acero, permitiendo el acceso a una mayor cantidad de productores.

Además es un material renovable y sostenible, cultivable entre los 3 y 5 años de edad, el cual hace importantes aportes al medio ambiente, como lo son la disminución de la erosión, fijación de carbono y producción de oxígeno, filtración y retención de agua, entre otros.

### Para consulta:

Acuña, N. (2013). Procedimiento de análisis y diseño estructural de invernaderos en acero laminado en frío para Costa Rica. Trabajo final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola, Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Durán, J. (2013). Diseño de estructuras en bambú para agricultura protegida. Trabajo final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola, Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

## PRINCIPALES ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE EL BIMESTRE

**Francisco Marín Thiele**

ProNAP, Ministerio de Agricultura y Ganadería

[framathi@costarricense.cr](mailto:framathi@costarricense.cr)

Durante este bimestre, hubo gran actividad en capacitación. Esta se dio gracias a los esfuerzos de esta Gerencia, los colaboradores del ProNAP y a la Fundación FITTACORI, mediante los procesos F-18-13 y P-01-13, que facilitaron el recurso financiero para hacer posibles las acciones que se describen enseguida.

### IV CURSO CORTO REGIONAL

Este curso fue desarrollado el 30 de octubre en la sede y con el apoyo del Centro Mesoamericano de Desarrollo Sostenible del Trópico Seco (SEMEDE) de la Universidad Nacional, en Nicoya, así como de la empresa La Costeña, que ofreció la experiencia del uso local de agricultura protegida en la producción de plántulas de melón. Con miembros de este Programa, los temas básicos tratados fueron orientados hacia la inducción de la adecuada toma de decisiones y hacia la generación de oportunidades para mejorar la competitividad de productores y opciones para jóvenes empresarios. Atendieron la invitación estudiantes de ese centro académico, de los Colegios Técnicos Profesionales de Hojancha y Nicoya, así como productores de la zona, que conformaron una planilla de cincuenta y cinco personas, gracias al apoyo de la Agencia de Servicios Agropecuarios (MAG) en el cantón.



La importante participación y el interés presentados, dieron a esta actividad un claro

matiz de intercambio de experiencias, que se espera rinda frutos en el corto plazo.

### CONFERENCIAS SOBRE NUTRICIÓN DE CULTIVOS

Los días 24 de setiembre y 8 de octubre, los técnicos del Ministerio de Agricultura y Ganadería y de algunas empresas así como varios productores de las regiones Central Oriental y



Central Occidental, recibieron una conferencia sobre Nutrición Vegetal, uno de los temas de mayor relevancia en la agricultura protegida. El balance entre iones, la absorción, fuentes de sales nutricionales, aspectos de preparación y compatibilidad en las soluciones, fueron los temas desarrollados por el ingeniero Eloy Molina, funcionario de la Universidad de Costa Rica, quien amablemente brindó su apoyo al ProNAP.

Los asistentes logramos aclarar muchas inquietudes relacionadas con el trabajo cotidiano con los productores y se

colaboró así con la mejora de capacidades para las cerca de cincuenta y cuatro personas que asistieron.

## **CURSO SOBRE CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS**

Dentro de la modalidad de cursos abiertos, el pasado 18 de setiembre, el Ingeniero Carlos Benavides ofreció un curso corto sobre elementos fundamentales para la construcción de estructuras para la agricultura protegida. Su experiencia junto con recientes desarrollos en el tema, facilitaron a los veinticinco asistentes información sobre elementos de diseño, materiales y normativos, nacionales e internacionales, aplicados a las obras para agricultura protegida.

Los temas desarrollados incluyeron las funciones de una instalación para agricultura protegida, el comportamiento del ambiente interno (transferencia de calor y masa), idealización de la estructura (cargas, soportes y materiales), así como recomendaciones de construcción (niveles, cimientos, uniones).

Mediante esta actividad, se hizo patente además que se ha logrado promover y que se desarrolla una importante línea de trabajo, para lograr que en el mediano plazo se facilite a los productores diseños adecuados para nuestras variantes condiciones y escalas de producción.



## CONFERENCIA DE INDUCCIÓN PARA EL E.T.A.I. DE Santa Clara

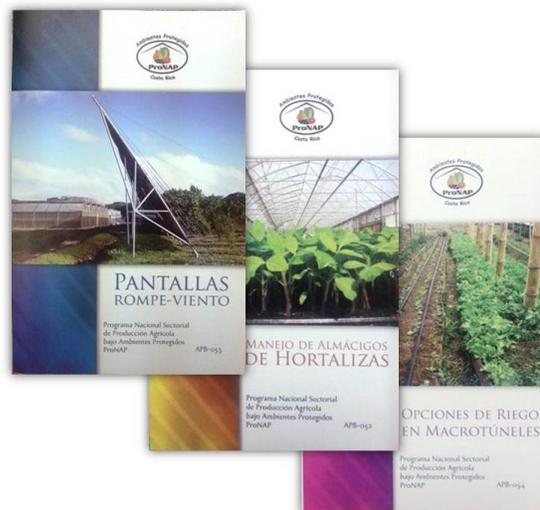


El día 29 de octubre, se ofreció a treinta y tres estudiantes de la Escuela Técnica Agroindustrial de Santa Clara (San Carlos, Alajuela), una conferencia de inducción sobre agricultura protegida, con énfasis en opciones tecnológicas y aplicaciones específicas para cultivos. La solicitud es en parte el resultado del interés mostrado por profesores en el 1er. Curso Corto Regional, celebrado el año anterior en la zona y al que asistieron algunos estudiantes y docentes de ese centro. Felizmente, el tema se va haciendo cada vez con mayor espacio y los jóvenes reciben opciones orientadoras tanto para continuar sus estudios como para apoyar a sus familias o a sí mismos, en un futuro desempeño profesional o comercial.

## MATERIAL DISPONIBLE

Se han multiplicado tres nuevos desplegables relacionados con temas determinados como de interés para los usuarios. Se trata de información sobre Pantallas Rompe-viento, Opciones de Riego para Macro-túneles y Manejo de Almacigos de Hortalizas, elaborados respectivamente con los colaboradores de este Programa Guido Barquero (Empresa Novedades Agrícolas), Gustavo Quesada (Universidad de Costa Rica) y Juan Carlos Valverde (Servicio de Riego y Avenamiento).

Los documentos pueden ser obtenidos mediante los enlaces del ProNAP en las diferentes Regiones del Ministerio de Agricultura y Ganadería, en las oficinas de FITTACORI en la sede central del MAG



## ANUNCIOS

# Encuentro Tecnológico: Opciones Productivas con Uso Eficiente del Recurso Hídrico

**Roberto Ramírez Matarrita**

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria

[rramirez@inta.go.cr](mailto:rramirez@inta.go.cr)

El Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) tiene el agrado de invitarle (s) al Encuentro Tecnológico “Opciones productivas con uso eficiente del recurso hídrico” donde se mostrarán los procesos de investigación que se realizan en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, orientados a aumentar la eficiencia de los sistemas agropecuarios con un mejor uso de los recursos naturales.

**Por favor confirmar al teléfono 2200-0360**

### Programa

8:30 a 9:00 a.m. **Inscripción**

9:00 a 9:20 a.m. **Inauguración:**

- Palabras de la Señora Ministra del MAG, Lic. Gloria Abraham
- Palabras del Director Ejecutivo del INTA, Ing. José Rafael Corrales
- Palabras del Alcalde Municipal de Cañas, Dr. Lizanías Zúñiga

9:20 a 9:40 a.m. **Refrigerio**

9:40 a 10:30 a.m. **Presentación de Charlas**

- Ampliación del Canal Sur, Ing. Marvin Barrantes (SENARA).
- Importancia de los estudios de suelo en la agricultura, Dr. Diógenes Cubero (INTA).
- Cambio climático y los retos de producir alimentos, M.Sc. Renato Jiménez (INTA).

10:30 a 12:30 p.m. **Recorrido por los campos de cultivos demostrativos y “stands”.**

12:30 a 1:30 p.m. **Almuerzo**

1:30 a 2:30 p.m. **Actos culturales**

2:30 a 3:00 p.m. **Clausura del evento**  
Palabras del Coordinador E.J.N.  
Ing. Edwin Quirós

Logo INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria), Logo del Sector Agroalimentario, y Logo de la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez.

**Invitación**  
**Encuentro Tecnológico**  
**“OPCIONES PRODUCTIVAS CON USO EFICIENTE DEL RECURSO HÍDRICO”**

Imagenes: Una tubería de riego en un campo, varios recipientes con muestras de suelo, un grupo de personas caminando por un campo, y un invernadero con cultivos.

**Lugar: Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Gte**

**Fecha: miércoles de 27 noviembre de 2013**

**Hora: 8:30 a.m.**

## Curso Corto sobre Producción de Almácigos

Francisco Marín Thiele.

Gerente de ProNAP

[framathi@costarricense.cr](mailto:framathi@costarricense.cr)

Dentro del proceso de capacitación y transferencia, se ha diseñado una serie de cursos cortos para tratar temas específicos con mayor profundidad, en donde se ha participado con el Colegio de Ingenieros Agrónomos Universidad de Costa Rica.

Se ofrece para el mes de noviembre un curso corto sobre Producción de Plántulas de Hortalizas, en donde se detallarán diversas fases de este proceso, entre ellas: los conceptos inmersos en la industria de la producción e plántulas, la calidad y los indicadores que se aplican al momento, insumos empleados para esta actividad, cómo establecer un almácigo y aspectos generales sobre su manejo.

El curso requiere de inversión para cubrir los gastos y la inscripción puede hacerse escribiendo a la colega Marleth Paniagua en el CIAGro [mpaniagua@ingagr.or.cr](mailto:mpaniagua@ingagr.or.cr), o bien llamando al teléfono 2240-8645.

  
 Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica  
 Universidad de Costa Rica  
 Programa Nacional de Agricultura bajo Ambientes Protegidos

**CURSO CORTO SOBRE**  
**"PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE HORTALIZAS"**

1. Fecha: Miércoles 13 de noviembre de 2013
2. Instructor: Programa de Hortalizas, E.E.F.B.M.
3. Horario: 8:00am a 3:00pm
4. Lugar: Estación Experimental Fabio Baudrit La Garita, Alajuela
5. Dirigido a: Profesionales y técnicos y público interesado en el tema

**CONTENIDO**

1. Conceptos y la industria de las plántulas
2. Eco-fisiología en almácigos
3. Calidad e indicadores preliminares
4. Insumos para la actividad
5. Establecimiento de un almácigo
6. Manejo: nutrición, protección y endurecimiento

Costo: ₡ 40.000 colegiados y ₡ 80.000 particulares (incluye certificado, refrigerios y materiales)

Confirmar participación con Ing. Marleth Paniagua al correo electrónico: [mpaniagua@ingagr.or.cr](mailto:mpaniagua@ingagr.or.cr) o al teléfono 2240-8645

**Código APB-062**

Este Boletín ha sido elaborado por la Gerencia del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola en Ambientes Protegidos, adscrito al despacho de la Ministra de Agricultura y Ganadería de Costa Rica mediante la Dirección Superior de Operaciones. Pretende proveer a los usuarios información relacionada con los diversos sectores de la producción agrícola bajo ambientes protegidos. Las contribuciones son responsabilidad de sus autores y no necesariamente implican una recomendación o aplicación generalizada. Para más información, diríjase a los colaboradores o comuníquese mediante los teléfonos **(506)-2232-1949**, **(506)-2231-2344** extensión **166**.

*Edición: Francisco Marín Thiele*