USDA

Agricultural Research Service

Versión 2.5

Tabla de Contenidos

Bienvenido a *Virtual Grower 2.5* 4
Requisitos para la instalación 4
Instalación 4
Si usted ya tiene una copia de Virtual Grower 4
La instalación de Virtual Grower 2.5 desde un archivo descargado: 5
Instalando Virtual Grower 2.5 desde un CD 5
Desinstalación de Virtual Grower 2.5 6
Reparando una instalación de Virtual Grower 2.5 6
Cómo empezar 7
Diseño 7
Invernadero Actual 7
Editar Invernadero 8
Opciones Avanzadas de Diseño 8
Infiltración a Través de Agujeros 10
Eficiencia del sistema de calefacción 11
Configuración de Cortinas Ahorradoras de Energía 13
Tipo de Combustible 14
Buscar sitio 14
Editar Sitio 14
Guardando Ajustes 14
Programación de Calefacción 15
Programaciones personalizadas 16
Iluminación 17
Configuración de Luz 18
Configuración de Calendario 19
Calendario de Exportación 21
Costos 23
Generando un Reporte 24
Crecimiento Vegetal 24
Seleccionando especies 24
Calculando Crecimiento Vegetal 26
Datos a Tiempo Real 27
Opciones adicionales del Menú 28
Importe -> Invernaderos 28
Importar --> Horarios planificados 29
Exportar --> Horarios planificados 29
Unidades 30
Análisis 30
Editar Combustibles y Materias 31
Ayuda 33
Algunas Suposiciones de *Virtual Grower* 2,5 34
Apéndice 1: Contenido energético del combustible utilizado en *Virtual Grower 2.5* 35
Apéndice 2: Suposiciones de las cortinas de energía 36
Apendice 3: U-valores para materials 39
Apéndice 4: Cómo la máxima salida de BTU es calculada 40

Apéndice 5: Cálculo del Flujo de Energía 41
Apéndice 6: Factores de Corrección Usados en *Virtual Grower* 43
Apéndice 7: Advertencias Para el Crecimiento de la Planta 44
Apéndice 8: Calculando el Desarrollo y Crecimiento de la Planta 45
Apéndice 9: Estimando la eficiencia del sistema de calefacción 55
Apéndice 10: Cálculo del costo de iluminación 56

Bienvenido a *Virtual Grower 2.5*

Gracias por su interés en *Virtual Grower*. Desde el lanzamiento de *Virtual Grower 1.0* a inicios del 2006, hemos trabajado con representantes de la industria de los invernaderos para mejorar las prestaciones del software. En este último lanzamiento, Ud. aun encontrará características de la versión anterior como la forma fácil de usarlo, pero con muchas nuevas virtudes como la predicción del crecimiento y desarrollo de las especies seleccionadas, descripciones mejoradas de infiltración de aire en invernaderos simulados, y opciones adicionales para cortinas ahorradoras de energía. Hemos añadido nuevas opciones para suplementar luz artificial y mejorado los cálculos para cortinas ahorradoras de energía. Si tiene conexión a internet mientras está corriendo el programa, usted podría obtener 2 días de pronóstico del tiempo y simular iluminación y calefacción a corto plazo durante ese período.

Muchas de las funciones se han añadido en los últimos años, y la gran mayoría de estas se han añadido basadas en las sugerencias de los usuarios. Como siempre, queremos tener sus opiniones. Si usted tiene un problema, queja o sugerencia, por favor envíenos un correo electrónico a USDA-ARS@utoledo.edu y nosotros responderemos a su consulta tan pronto como sea posible.

Requisitos para la instalación

Virtual Grower 2.5 sólo es compatible en equipos con sistemas operativos Microsoft Windows 98, ME, 2000, XP, Vista o posteriores. No funciona en procesadores de 64 bits. Además, los ordenadores deben tener instalado Microsoft. NET Framework versión 2.0, a fin de ejecutar el programa.

Instalación

Si usted ya tiene una copia de Virtual Grower

Virtual Grower 2.5 no se instala en su ordenador si ya tiene la versión 2.0 o posterior. Por favor, siga las instrucciones de desinstalar el programa antes de continuar con la instalación de la nueva versión.

Virtual Grower 2.5 es, sin embargo, un programa independiente de la versión 1.1 o anterior, y se puede instalar sin modificar la versión anterior. Debido a que *Virtual Grower 2.5* conserva todas las funcionalidades de las versiones anteriores, se recomienda la eliminación de las versiones anteriores de *Virtual Grower*. Para instalar *Virtual Grower 2.5* sólo tiene que seguir las instrucciones normales de instalación que se presentan a continuación. Todos los archivos pre-existentes de los invernaderos se conservarán intactos y seguirán estando disponibles en la nueva versión. Sin embargo, al guardar invernaderos en la nueva versión, estos no se podrán leer en versiones antiguas ya que muchas nuevas características se han añadido. Esto sólo debería ser

un problema si usted desea volver a una versión anterior de *Virtual Grower* después de que se ha instalado y se está usando esta versión (2.5) del software.

La instalación de Virtual Grower 2.5 desde un archivo descargado:

Primero, cree un directorio temporal en su disco duro (por ejemplo C: \ VGInstall) para almacenar los archivos de instalación descargados y extraídos. Abra su navegador y escriba la siguiente URL en la barra de direcciones: www.virtualgrower.net y vaya a “descargar ahora".

Ingrese la información requerida en el formulario de descarga en la parte inferior de la página y haga clic en el botón "Llévame a la descarga". Haga clic en el archivo de instalación de *Virtual Grower* y seleccione "Guardar". Dentro del cuadro de diálogo "Guardar como", vaya a la carpeta que acaba de crear y haga clic en “Guardar”. Abra la carpeta recientemente creada y haga doble clic en el archivo "VG2_5Install.exe" que se acaba de descargar para extraer los archivos de instalación. Seleccione "Ejecutar" el software, si se le pide. En el cuadro de diálogo extractor, haga clic en el botón "..." y vaya a la carpeta que creó y haga clic en "Aceptar". Haga clic en "Extraer" para extraer los archivos de instalación, la ventana se cerrará automáticamente cuando se termine la extracción. Por último, haga clic en el archivo "setup.exe" en la carpeta creada para ejecutar el instalador y siga las instrucciones en pantalla. Tenga en cuenta que *Virtual Grower 2.5* requiere Microsoft. Net Framework 2.0. Si se le pide que se conecte a Internet y descarge el marco, elija hacerlo. El archivo es grande y puede tardar más de 20 minutos para descargar si su conexión a Internet es del tipo dial-up. Si no está seguro de la condición de su computadora, ejecute "actualización de la ventana" y los archivos correspondientes se instalarán.

Instalando Virtual Grower 2.5 desde un CD

Inserte el CD de *Virtual Grower 2.5* en su unidad de CD-ROM. En la mayoría de las computadoras, el programa de instalación se ejecutará automáticamente. Si no es así, vaya a "Mi PC", abra el CD-ROM y ejecute el programa llamado "Setup.exe".

El programa de instalación primero comprobará si su equipo tiene Microsoft. NET Framework versión 2.0. Si no lo tiene, se le preguntará si desea descargar el marco de Microsoft. Si usted tiene una conexión a Internet, decida hacerlo y permita que el marco sea instalado. Dependiendo de su conexión a Internet, esto podría tomar entre cinco y veinte minutos. Una vez instalado el marco (o si ya estaba instalado), el programa de instalación le guiará a través de la instalación de Virtual de Productores 2.5. Por lo general, las opciones automáticas funcionarán bien y usted sólo tendrá que hacer clic en "Siguiente" unas cuantas veces.

Si no dispone de una conexión a Internet y todavía necesita el Microsoft. NET Framework, vaya a "Mi PC", haga clic derecho en la unidad de CD-ROM, y ejecute el programa llamado "dotnetfx.exe. Siga las instrucciones para instalar el marco desde el CD y luego repita los pasos de instalación *Virtual Grower* que se encuentran arriba.

Después de que la instalación ha sido completada, un icono se añadirá a su

escritorio y el menú de inicio como “*Virtual Grower*". Abra cualquiera de estos para ejecutar el programa.

Desinstalación de Virtual Grower 2.5

Si Ud. desea desinstalar *Virtual Grower 2.5* o cualquier versión anterior del programa, vaya al menú de inicio y abra el Panel de Control. Cuando el panel se abra, busque y abra el icono llamado “Anadir y Remover Programa”. Hacia el final de la lista encontrará una entrada para *Virtual Grower 2.5* (u otras versiones). Selecciónelo y haga clic en el botón “Quitar” en la derecha. Esto quitará totalmente el programa de su ordenador, pero no se eliminará los invernaderos que ha guardado. Además, desinstalar *Virtual Grower* tampoco eliminará el Microsoft. NET Framework. Es aconsejable dejar el marco en el equipo ya que muchos programas están comenzando a requerirlo. Sin embargo, si desea eliminarlo, siga las mismas instrucciones anteriores y busque una entrada llamada "Microsoft. NET Framework versión 2.0" en su lugar. Puede que tenga que cerrar los programas que se ejecutan actualmente y/o reiniciar el equipo después de quitar el marco.

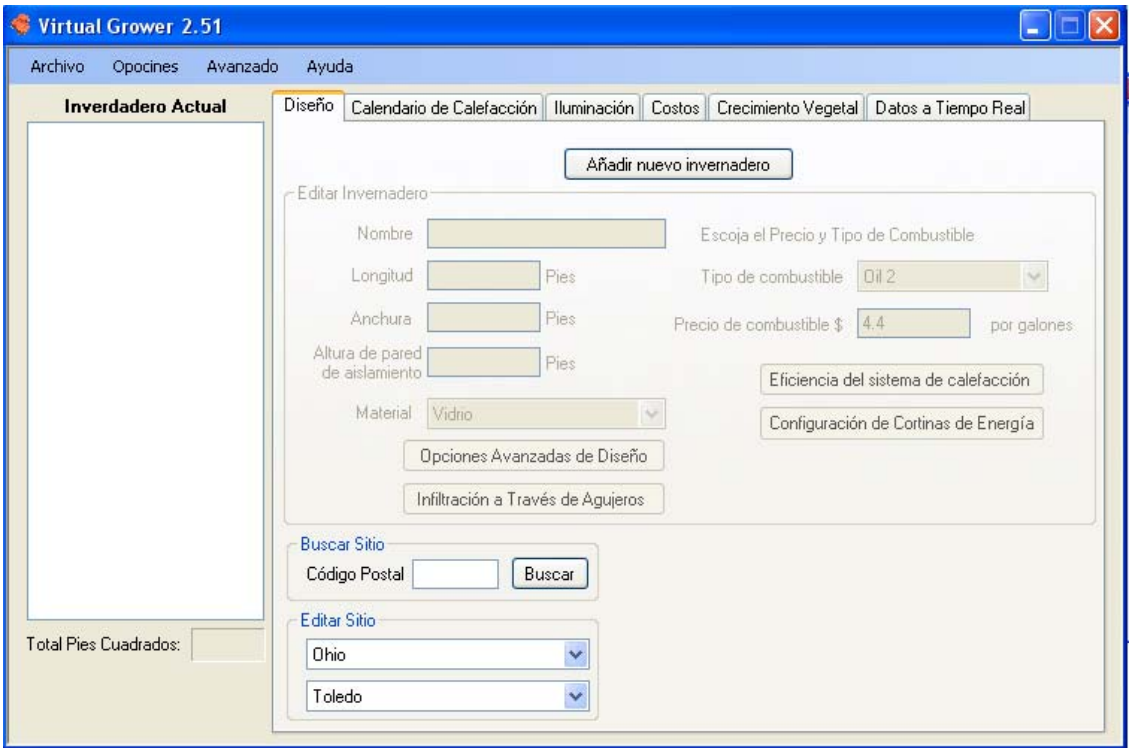
Reparando una instalación de Virtual Grower 2.5

Si la instalación de *Virtual Grower 2.5* se dañara o dejara de funcionar correctamente, inserte el CD de *Virtual Grower 2.5* y ejecute el programa de instalación (o simplemente ejecute el programa setup.exe si ya lo ha descargado). Cuando el instalador le pregunte si desea reparar o remover *Virtual Grower 2.5*, seleccione "Reparación", haga clic en "Continuar", y siga las instrucciones restantes. Esto solucionará los problemas asociados con la instalación de versiones anteriores de *Virtual Grower* en un equipo que ya tiene instalado *Virtual Grower 2.5*.

Si ha descargado el software, y tiene dificultades para instalarlo, por favor póngase en contacto con USDA-ARS@utoledo.edu y con gusto le enviaremos un CD con el software y el marco necesario sin costo alguno.

Cómo empezar

Una vez instalado el programa, haga doble clic en el icono de *Virtual Grower* (un cuadro con flores) en el escritorio o en el menú de inicio. La página principal debe aparecer:



En la parte superior de la página, están las etiquetas "Diseño", "Calendario de Calefacción", "Iluminación", "Costos", "Crecimiento Vegetal", y "Datos a Tiempo Real" Al hacer clic en las pestañas, las secciones aparecerán.

Diseño

Cuatro ventanas se exponen en esta página: Invernadero Actual, Editar Invernadero, Buscar Sitio, y Editar Sitio.

Invernadero Actual

Esto muestra una lista de los invernaderos que se han creado dentro de *Virtual Grower*. Al abrir el programa, no existen invernaderos en la lista. Cuando se hace clic una vez en el botón "Añadir nuevo invernadero", un nombre de invernadero aparece en

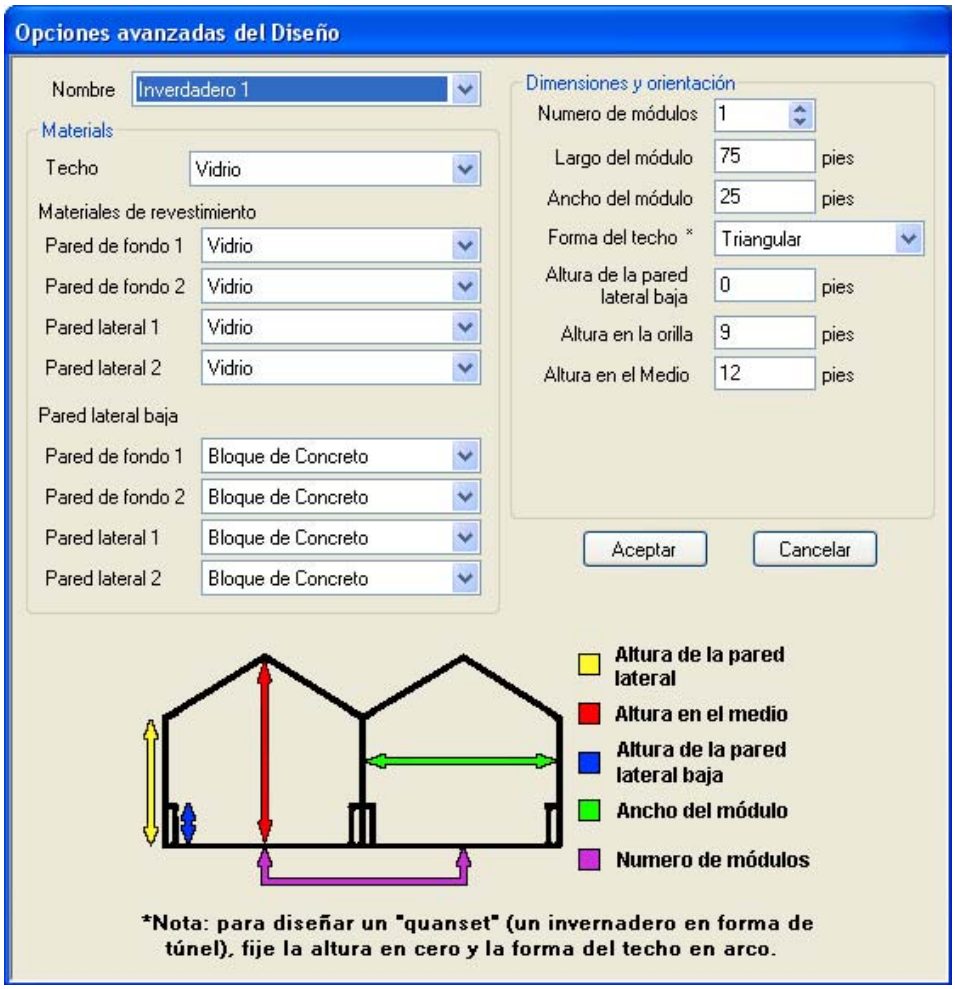
la lista junto a una caja en la cual puede o no seleccionarse haciendo clic en el nombre del invernadero en la lista Invernadero Actual. También puede cargar los invernaderos desarrollados anteriormente en otras sesiones de *Virtual Grower* haciendo clic en Archivo <Configuración de carga, y la seleccione de la lista de los invernaderos guardados. Cuando un invernadero se añade a esta lista, el total de pies cuadrados de todos los invernaderos (controlados y no controlados) se muestra en la esquina inferior izquierda.

Editar Invernadero

Después de que un invernadero ha sido añadido (haciendo clic en "Añadir un Nuevo Invernadero" o cargando un invernadero anterior), la sección de Editar Invernadero le permite poner un nombre al invernadero y definir el tamaño y la forma del mismo. Al hacer clic en cada sección (Nombre, Longitud, Anchura, Altura de pared de aislamiento, Material, Tipo de Combustible, y Precio de Combustible), usted puede también escribir información específica para cada invernadero. Por ejemplo, si usted tiene varios invernaderos y algunos están conectados entre sí, es posible que deba nombrar el primer invernadero como zona 1, y defina las dimensiones (en pies) de su invernadero y la altura (también en pies) de la pared de aislamiento. Si usted no tiene pared de aislamiento introduzca 0. Usted puede elegir el material de su invernadero de la lista desplegable junto a la sección de Material. Esto asume que todo el invernadero, excepto la pared de aislamiento, está hecho de ese material. Cuando un invernadero se construye de diferentes materiales, es necesario perfeccionar el diseño de su invernadero. Para ello, haga clic en el botón Opciones Avanzadas de Diseño.

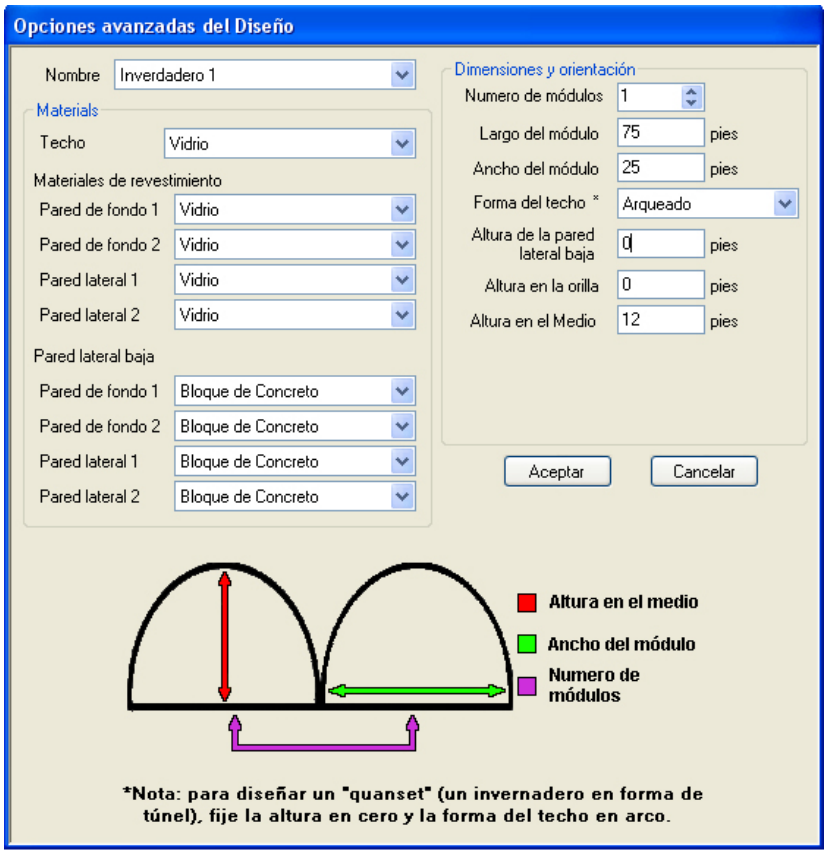
Opciones Avanzadas de Diseño

Después de hacer clic en “Opciones Avanzadas de Diseño”, la siguiente pantalla aparecerá:



Esta página le permite hacer cambios a techos, paredes, pared lateral, y los materiales de aislamiento desde una determinada lista de materiales en su conjunto y para cada lado, independientemente. Además, puede cambiar la altura de las paredes laterales y el centro, el estilo del invernadero, y si se está construyendo un canal conectado al invernadero, elija el número de tramos dentro de la estructura. Tenga en cuenta que si está diseñando un invernadero conectado, la anchura que debe introducir es para cada nivel, poste por poste, y no el ancho de toda la zona. En la parte inferior de esta pantalla hay una imagen del tipo de invernadero que está construyendo. A pesar de que la foto muestra dos invernaderos con canalones conectados, no significa que los invernaderos son conectados. Los invernaderos estarán conectados sólo si el número de tramos (cuadro superior en la esquina derecha de la sección de dimensiones) es mayor que uno.

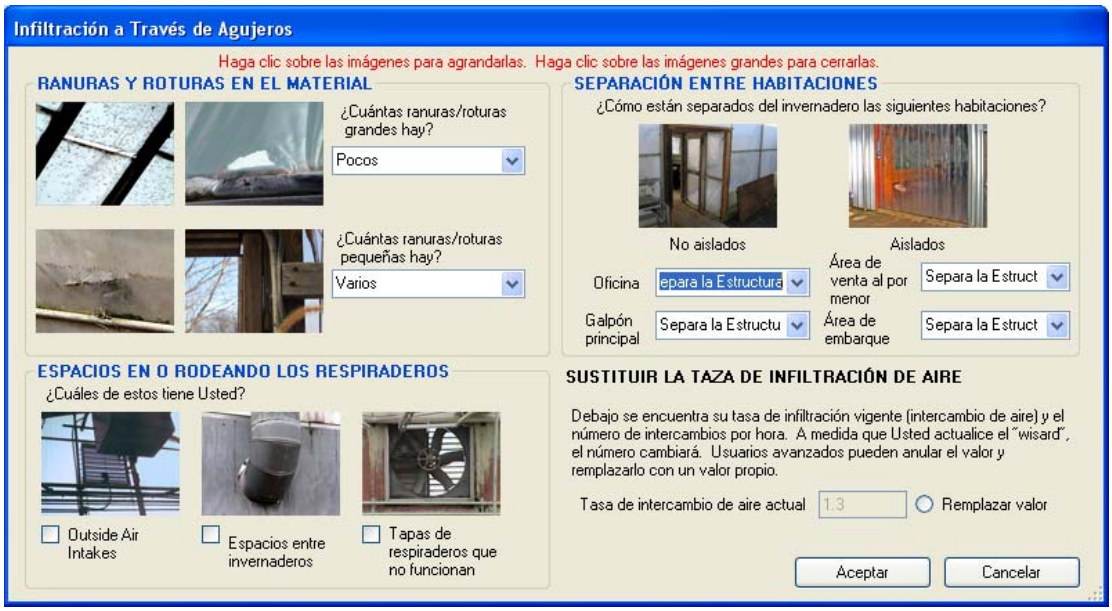
Invernaderos de estilo Quonset pueden ser construidos en esta sección. Para construir un invernadero Quonset, defina la altura del borde en cero (0) y seleccione la forma del techo como "Arco". Un cambio en la imagen aparecerá como:



Una vez que los ajustes se han completado a su satisfacción en esta sección, puede hacer clic en "Aceptar" en la parte inferior de la pantalla o seleccionar una sección o zona diferente para modificar desde el menú desplegable del panel al lado de "Nombre". Cuando hace clic en "Aceptar", usted volverá a la página principal.

Infiltración a Través de Agujeros

La infiltración a través de agujeros se refiere a la rigidez de la construcción de su invernadero y ayuda a describir posibles fugas a través de un invernadero o una sección de invernaderos. Al hacer clic sobre esto debe aparecer la siguiente pantalla:

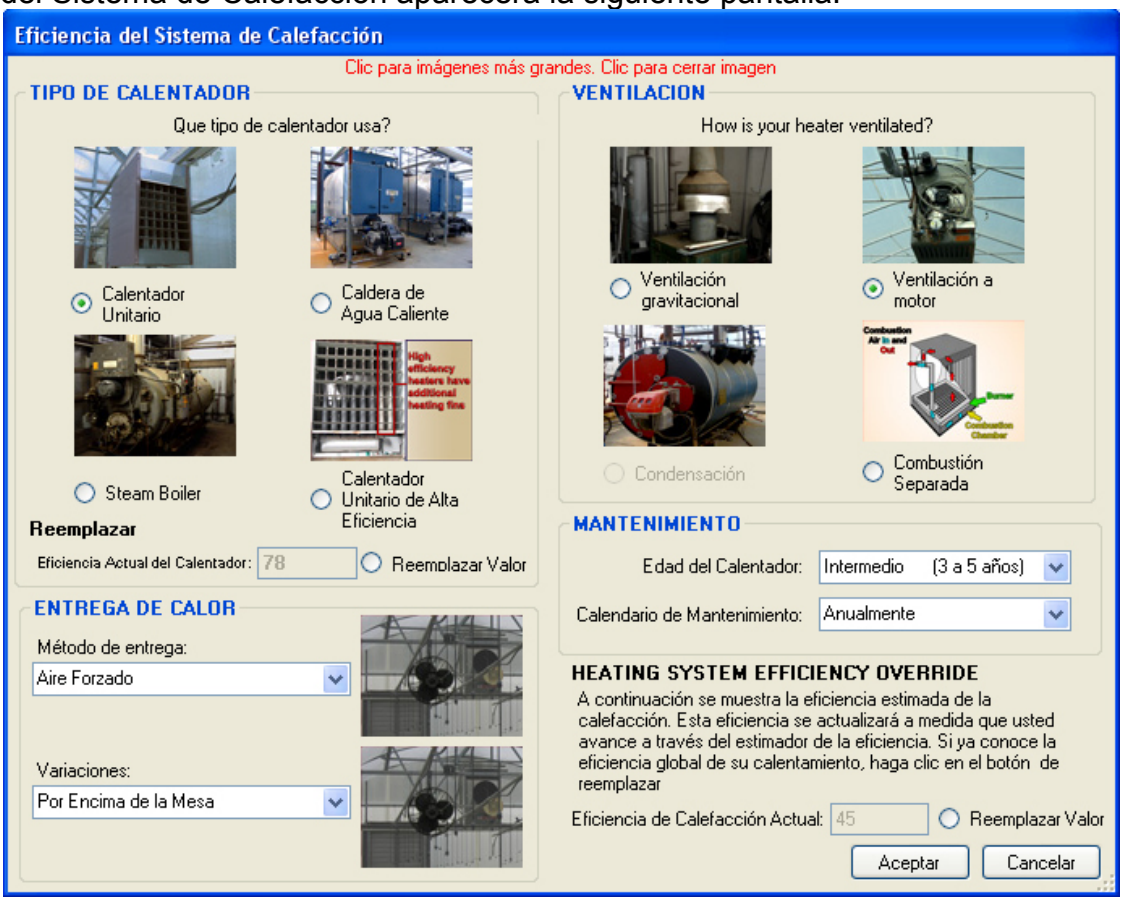


Existen cuatro secciones en esta pantalla. ABERTURAS EN MATERIALES / ESTRUCTURA le permite definir el número de grandes y pequeñas aberturas que pueda tener el invernadero en particular. Si no está seguro lo que este tipo de abertura es, vea una de las imágenes o haga clic en alguna de ellas para ampliarla. Al hacer clic nuevamente en una imagen se cerrará la imagen ampliada y volverá a la pantalla anterior de Infiltración a Través de Agujeros. ABERTURAS EN Y SOBRE VENTOSAS le permite definir si usted tiene uno o más de estos tipos de aberturas que con frecuencia existen en los invernaderos en funcionamiento. SALA DE SEPARACIÓN se refiere a las pérdidas de calor comúnmente experimentadas, que a menudo son ignoradas, en las zonas, oficinas, o las zonas de expedición. Cada vez que se introduce una descripción, la tasa de intercambio de aire cambia, lo que puede verse en la sección de REEMPLAZO DE LA TASA DE INFILTRACION DE AIRE. Si desea ver el impacto que las diferentes tasas de cambio de aire pueden causar en sus invernaderos o si conoce la tasa de intercambio de aire, haga clic en el botón reemplazar y escriba un valor (intercambio de aire de sus invernaderos por hora) en el casillero. Una vez que haya completado la sección de Infiltración a Través de Agujeros, haga clic en el botón Aceptar. A continuación, usted regresará a la Página Principal.
Nota: Tenga en cuenta que la tasa de intercambio de aire estimada en la sección Infiltración a Través de Agujeros se aplicará sólo a la zona que se ha seleccionado en la página principal de la ventana "Invernadero Actual", independientemente si ha sido o no escogido. La sección Infiltración a Través Agujeros debe ser considerada como una herramienta - no es un reemplazo de un análisis a profundidad realizado por ingenieros con licencia.

Eficiencia del sistema de calefacción

La eficiencia del sistema de calefacción se describe como la eficiencia en general del sistema de calor de un calentador o la eficiencia de combustión mediante la entrega de ese calor a la zona de crecimiento. Haciendo clic en el botón de Eficiencia

del Sistema de Calefacción aparecerá la siguiente pantalla:

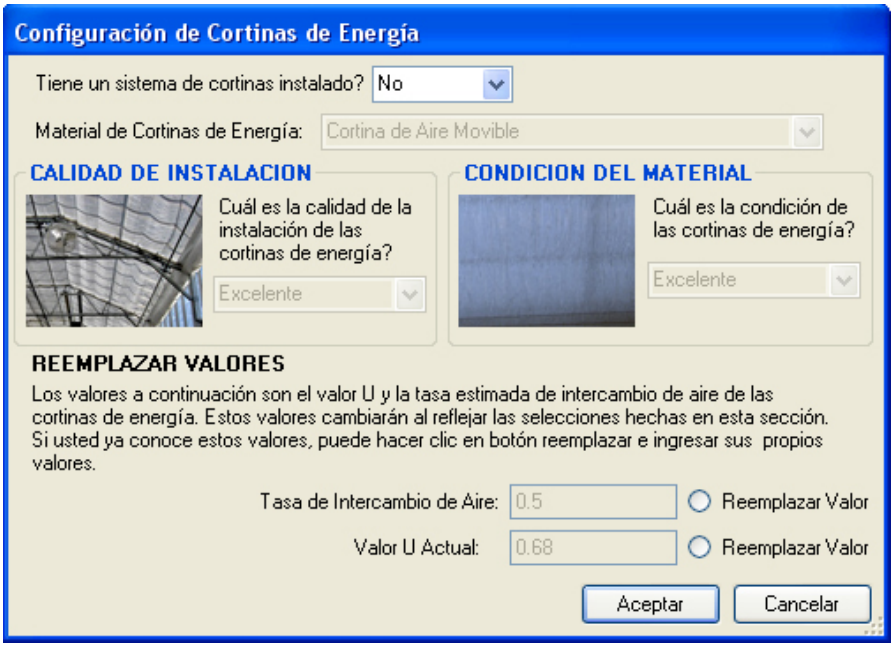


Existen cinco secciones a esta página. Cuando haga clic en cada sección para describir su sistema de calefacción, una estimación de la eficiencia global de calentamiento es realizada. TIPO DE CALENTADOR le permite seleccionar uno de los cuatro tipos de calentadores que son comúnmente utilizados en la producción en invernadero. Si usted no ve su tipo de calentador o si ya sabe la eficiencia de su calentador, puede hacer clic en el botón "Reemplazar valor" e ingresar la eficiencia actual de su calentador. VENTILACIÓN describe cómo su calentador es ventilado. ENTREGA DE CALOR describe los intercambiadores de calor y el método de entrega del calor a sus áreas de cultivo. Los menús desplegables y fotografías cambiarán dependiendo del tipo de calefacción y ventilación seleccionados en esas secciones. En la sección MANTENIMIENTO, seleccione la edad del calentador y el calendario de mantenimiento que mejor describe su sistema. Por último, REEMPLAZO DE LA EFICIENCIA DE CALEFACCION proporciona la estimación de la eficiencia de la calefacción de su sistema basado en el tipo de calefacción, ventilación, la entrega, y las selecciones de mantenimiento. Alternativamente, si usted conoce su eficacia global, puede hacer clic en el valor de la "Reemplazar Valor", e introduzca un valor de eficiencia, de 0 a 100. Una vez que haya completado la sección Eficiencia del Sistema de Calefacción, haga clic en el botón Aceptar. **Nota:** Tenga en cuenta que la eficiencia del sistema de calefacción que se estima que en esta sección se aplicará sólo a la zona que se haya seleccionado en la página principal de "Invernadero Actual", independientemente si lo haya o no seleccionado. La sección de Eficiencia del Sistema

de Calefacción debe ser considerada como una herramienta - no es un reemplazo de un análisis a profundidad realizado por ingenieros con licencia. Al hacer clic en los botones Aceptar o Cancelar Ud. regresará a la página principal.

Configuración de Cortinas Ahorradoras de Energía

Esta sección le permite describir su sistema de cortinas ahorradoras de energía para el invernadero seleccionado que será simulado. Al hacer clic en este botón debe aparecer la siguiente página:



En la parte superior de esta página, puede seleccionar "sí" o "no" para indicar que un sistema de cortinas de energía ha sido instalado en el invernadero seleccionado. La configuración automática es No Cortinas de Energía. Si se ha seleccionado "sí", puede escoger el material de la cortina en el menú desplegable, describir la Calidad de la Instalación, y la Condición del Material. En conjunto, estas selecciones definen la tasa de intercambio de aire entre la sección del invernadero por encima y por debajo de las cortinas, y el valor U del sistema de cortinas. Estos son utilizados en los cálculos para determinar el potencial de ahorro del sistema descrito. [Véase el Apéndice 2 para obtener más información sobre cómo se hacen estos cálculos]. Las fotos no cambiarán basadas en el material de las cortinas. Si no está seguro del material de la cortina, pero conoce cuál es el intercambio de aire y/o el valor U del material, usted puede seleccionar el botón Reemplazar Valor y escriba los valores manualmente. Una vez que haya completado la sección Instalación de Cortinas Ahorradoras de Energía, haga clic en el botón Aceptar. **Nota:** Tenga en cuenta que los valores de la Configuración de Cortinas Ahorradoras de Energía que se calculan que en esta sección se aplicarán sólo al invernadero seleccionado en la página principal de "Invernadero Actual", independientemente si se haya escogido o no. La sección de

Instalación de Cortinas Ahorradoras de Energía debe ser considerada como una herramienta - no es un reemplazo de un análisis a profundidad realizado por ingenieros con licencia.

Tipo de Combustible

Tipo de Combustible le permite seleccionar el tipo de combustible usado para calentar el invernadero mientras que el Precio del Combustible le permite ingresar el costo de dicho combustible.

Buscar sitio

En esta ventana, usted puede ingresar el código postal (solo U.S.) para buscar la base de datos meteorológicos más cercana a su sitio.

Editar Sitio

En este cuadro, usted puede seleccionar su estado y la ciudad en la que usted construiría sus invernaderos. Los ajustes automáticos son Toledo, Ohio. Seleccionando un estado se desplegara un listado de las ciudades correspondientes a ese estado. No todas las ciudades dentro de un estado están representadas, por lo que usted deberá elegir aquella que este más cercana a usted si su ciudad no está representada. [Si no está seguro de la ubicación más cercana, introduzca su código postal en el cuadro de la web.] Por ejemplo, en el estado de Ohio, un usuario en Bowling Green elegiría la ciudad de Toledo ya que Bowling Green no está actualmente en nuestra base de datos. [Todavía no puede encontrar una ciudad que está cerca de la tuya? Contáctenos a USDA-ARS@utoledo.edu y vamos a trabajar con usted para tratar de encontrar la ciudad que mejor se adapte a sus necesidades.]

Al seleccionar una ciudad y estado, una base de datos histórica del clima típico en ese lugar será descargada, lo que da los valores típicos de temperatura, la luz y cobertura de nubes, por ejemplo, por cada hora a lo largo de 12 meses. Esta información meteorológica se obtuvo del sitio web de National Renewable Energy Laboratory (http://rredc.nrel.gov/). Es importante señalar que la información del tiempo no son los valores promedio para un período de tiempo, sino los valores típicos o representativos de esa fecha y la hora.

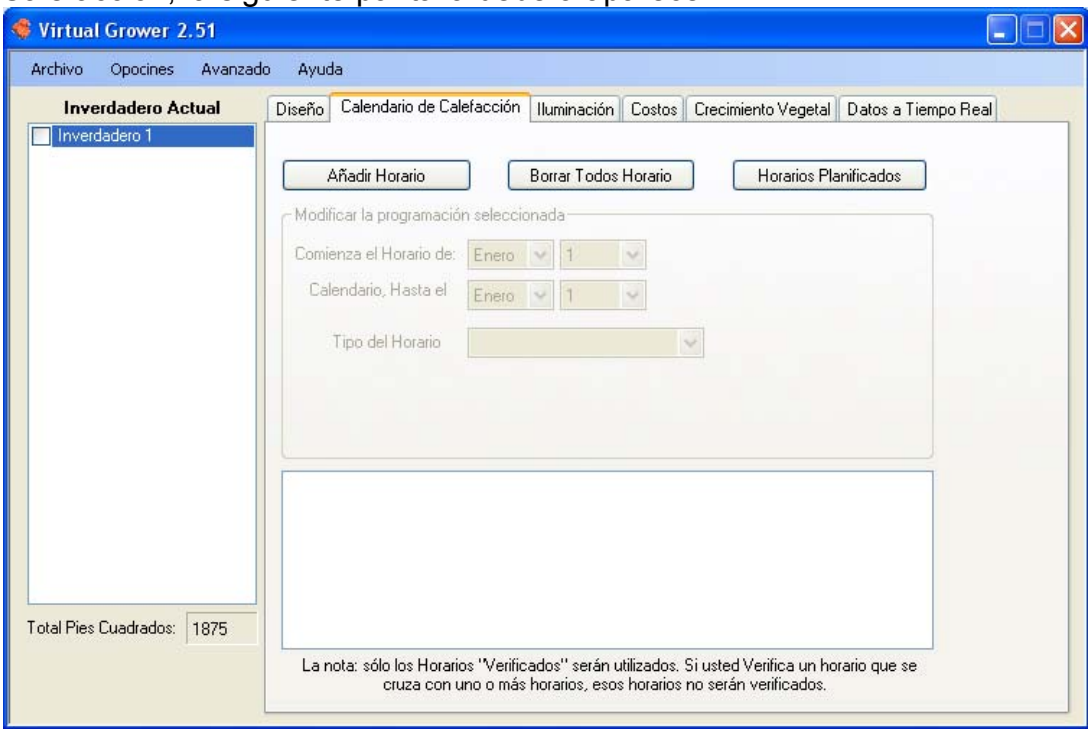
Guardando Ajustes

En cualquier momento durante la simulación o "construcción" de su invernadero, usted puede guardar la configuración del invernadero desde la página principal haciendo clic en Archivo <Guardar Ajustes y añada un nombre al diseño de su archivo. Esto le permitirá descargar su invernadero en otras sesiones *Virtual Grower*. Salir del

programa en cualquier momento también le preguntará si desea guardar sus configuraciones.

Programación de Calefacción

Después de hacer clic en la pestaña de Calendario de Programación de Calefacción, la siguiente pantalla deberá aparecer:



Esta sección le permite seleccionar un invernadero, resaltado en azul en el lado izquierdo de la pantalla, que se construyó en la sección de Diseño; y programar un calendario de calefacción de hasta un año entero para esa sección. Al hacer clic en el botón Agregar Calendario en la parte superior, un inicial, y predeterminado valor aparece con una temperatura constante y durante todo el año de 65 °F. Para programar su propio calendario que refleje con exactitud su calendario de crecimiento de cultivos, seleccione el programa en el cuadro de la parte inferior y luego elija una fecha de inicio y finalización desde los menús desplegables en los que la calefacción se activará al invernadero. En el menú desplegable " Tipo de Calendario", una lista de No Calefacción, Es Día Cuando Esta Soleado, Es Día Cuando Yo Digo, y Temperatura Constante permite cuatro tipos de calefacción pre-determinados. La función de cada selección es la siguiente:

No Calefacción

El invernadero no recibe calefacción por lo que no se calcula ningún costo.

Es Día Cuando Esta Soleado

El setpoint de la temperatura durante el día se activa cuando sale el sol, basado en su ubicación en el país. Cuando el sol ha salido, se mantiene la temperatura de la noche.

En esta selección, el período térmico coincide con el período de fotoperiodo o la luz natural.

Es Día Cuando Yo Digo

La temperatura durante el día se establece en un período de tiempo específico durante el día. Este período de tiempo no cambia de un día para otro.

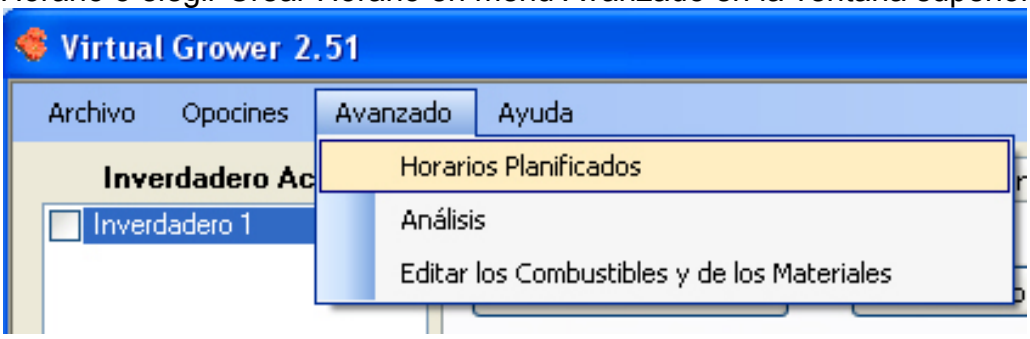
Temperatura Constante

La temperatura es la misma, día y noche, durante el período de tiempo que se define.

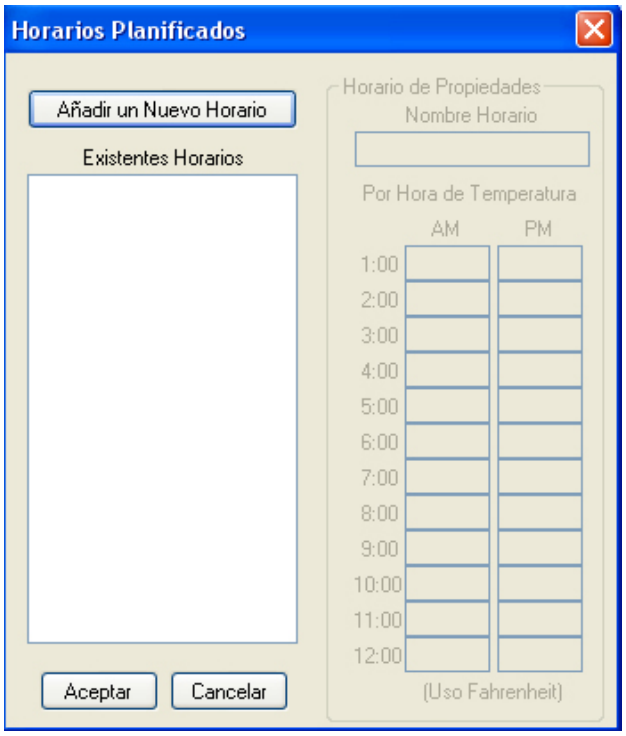
Si usted tiene un horario de calefacción que tiene más de dos temperaturas durante un período de 24 horas, las opciones de Crear Horario le permiten establecer las temperaturas hora-por-hora.

Programaciones personalizadas

Para establecer la hora-por-hora las temperaturas, haga clic en el botón Crear Horario o elegir Crear Horario en menú Avanzado en la ventana superior



Al escoger esta opción aparecerá la siguiente ventana:



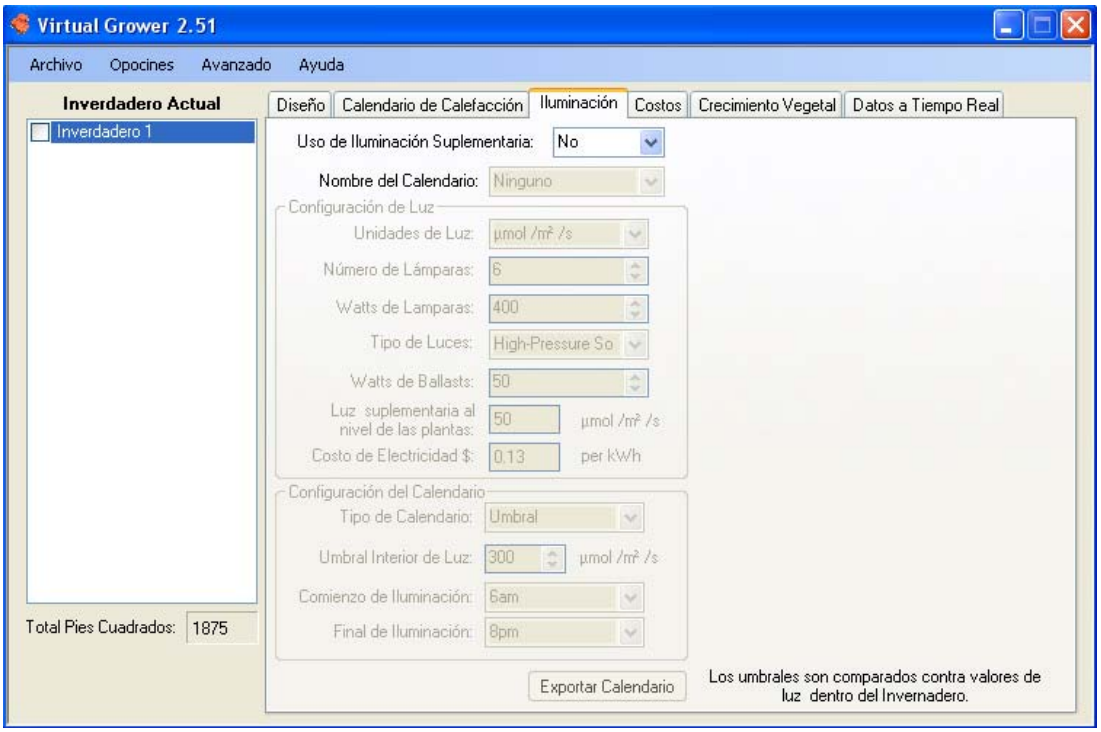
Al hacer clic en "Añadir Nuevo Programa", la temperatura por hora de 65 °F será establecida en la lista de las temperaturas a la derecha de la ventana. Al hacer clic en cada ventana, usted puede cambiar la temperatura del setpoint por hora para cada día. El valor de esta sección es que usted puede programar el DIF o tratamientos DIP para determinados cultivos o ciertas épocas del año. Antes de hacer clic en el botón Aceptar, agregue un nombre al calendario en el cuadro Nombre de Lista (superior derecha). Esto le guardará este horario y le permitirá tener ese programa para los diseños futuros de invernaderos.

El programa le permite tener una programación compleja y realista para todos los invernaderos, sin embargo actualmente, no permite la subdivisión de las secciones de invernadero con particiones temporales así como es una práctica común en la producción en invernadero.

Para cambiar de invernadero, haga clic para resaltar un invernadero diferente de la lista actual de invernaderos en el lado izquierdo. Una vez que todos los invernaderos se han programado a satisfacción, los costos pueden ser calculados para sus invernaderos.

Iluminación

Al hacer clic en la sección Iluminación, usted encontrará la siguiente ventana:



En la parte superior de esta página existe una pregunta de "Sí" o "No" al respecto de si tiene iluminación suplementaria en la sección del invernadero seleccionado (resaltado) en la izquierda. El valor por defecto es "No", lo que significa que no provee de iluminación suplementaria (electricidad) en este invernadero. Si la opción "Sí" es seleccionada, los ajustes deberán ser llenados a continuación, como se indica en letras en negrilla (en lugar de gris claro).

Justo debajo de la selección si-no, usted puede nombrar el programa de iluminación que ha sido creado. Esto es útil si desea aplicar el mismo horario de iluminación a invernaderos diferentes. A continuación del nombre de programación existen dos cajas: Configuración de Luz y Configuración de Calendario

Configuración de Luz

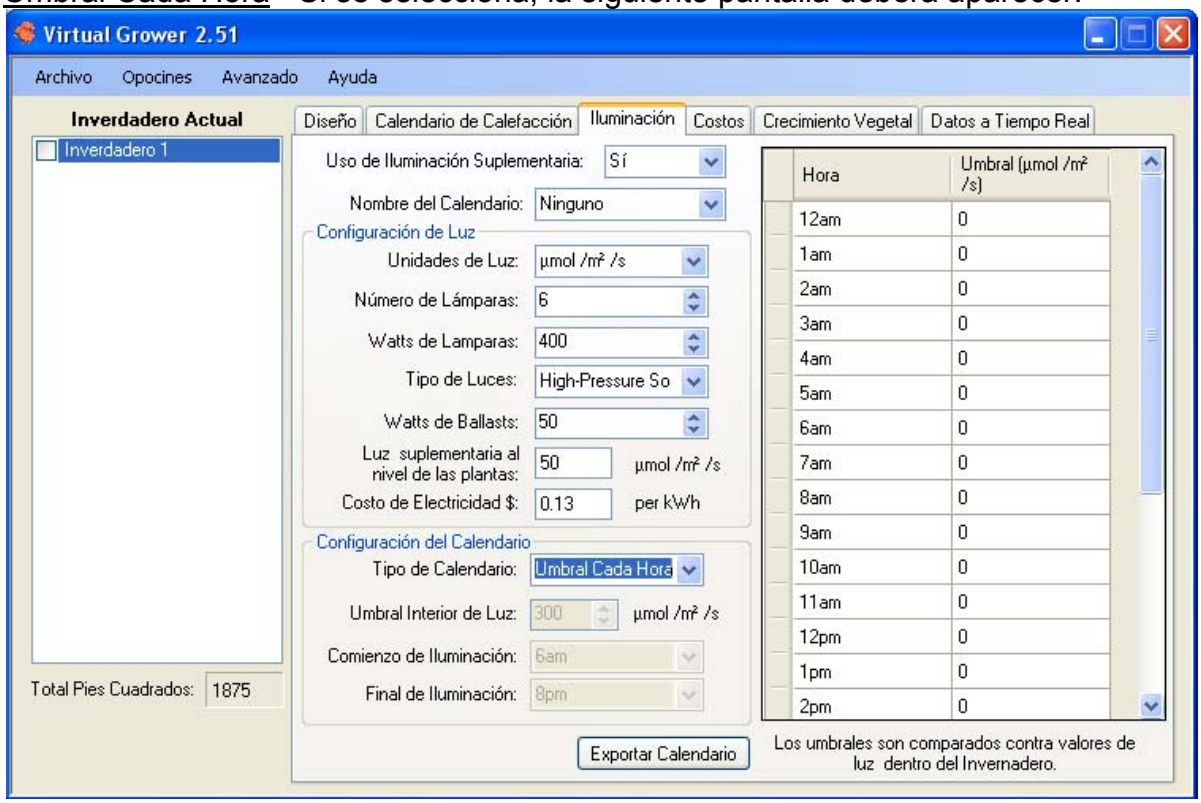
Esta área le permite a un usuario describir la luz provista, a través de introducir el número de luces, potencia de las bombillas y lámparas fluorescentes, tipo de lámpara, la cantidad de luz que reciben las plantas a través de las lámparas, y sus costos de electricidad. Asegúrese de seleccionar una unidad de iluminación (mmol m^{-2} s^{-1}, candelas, lux, y W m^{-2})!

Las selecciones hechas aquí le ayudarán a determinar los gastos de funcionamiento de iluminación suplementaria para un determinado invernadero, así también a determinar los impactos potenciales en el crecimiento y desarrollo de plantas (tiempo de floración y tamaño de flores) al utilizar iluminación suplementaria en la sección de Crecimiento Vegetal.

Configuración de Calendario

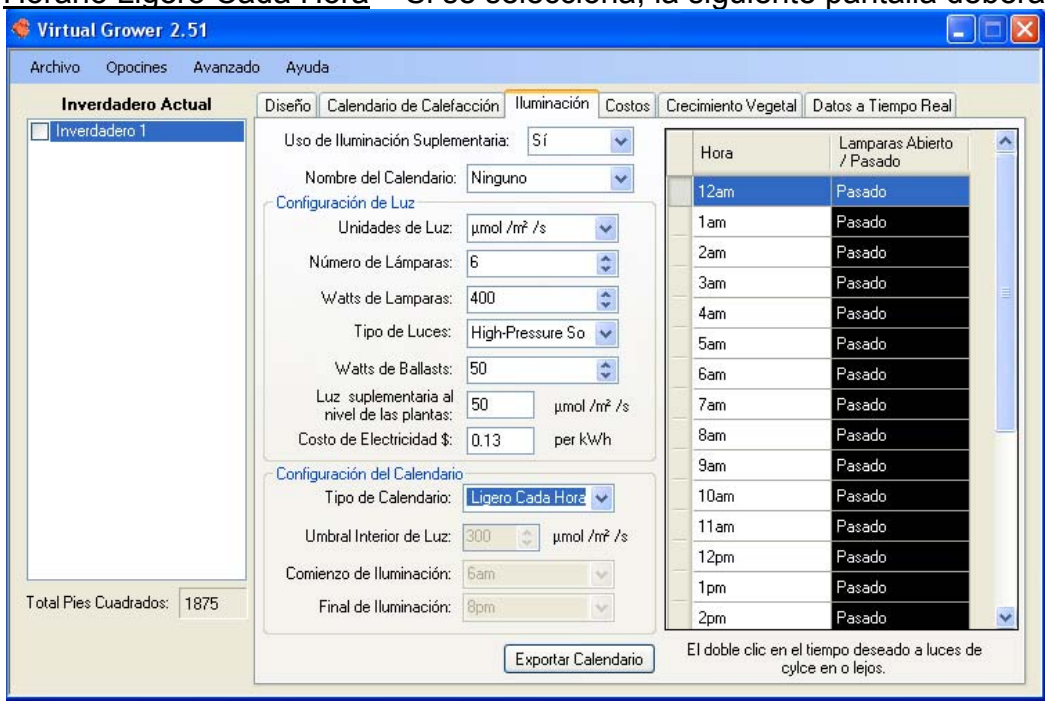
Esta área le permite a un usuario describir cómo y cuándo la iluminación suplementaria se utiliza dentro de un invernadero. En el menú desplegable de Tipo de Calendario, hay cuatro opciones para seleccionar: Umbral Cada Hora, Horario Ligero Cada Hora, Umbral, y Horario de Luz.

Umbral Cada Hora - Si se selecciona, la siguiente pantalla deberá aparecer:



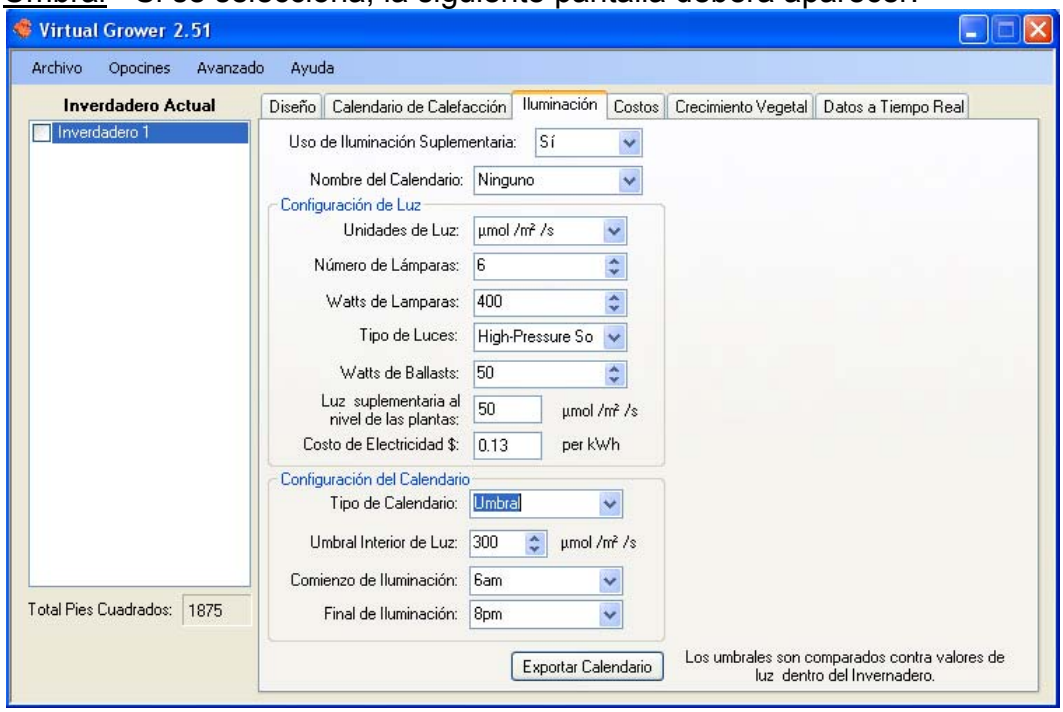
En la parte derecha de esta pantalla, usted puede introducir, hora por hora, el umbral mínimo de luz (dentro del invernadero, basados en los materiales del invernadero e información histórica o prevista del tiempo) por debajo del cual el sistema de iluminación se activará. El usuario puede introducir los valores límites (umbrales) diferentes, por debajo de los cuales su sistema de iluminación se activará. Es posible en esta configuración que usted tenga diferentes umbrales para diferentes momentos del día. Tenga en cuenta que cuando se introduce 0 (por defecto), la luz no se activará a esa hora.

Horario Ligero Cada Hora – Si se selecciona, la siguiente pantalla deberá aparecer:



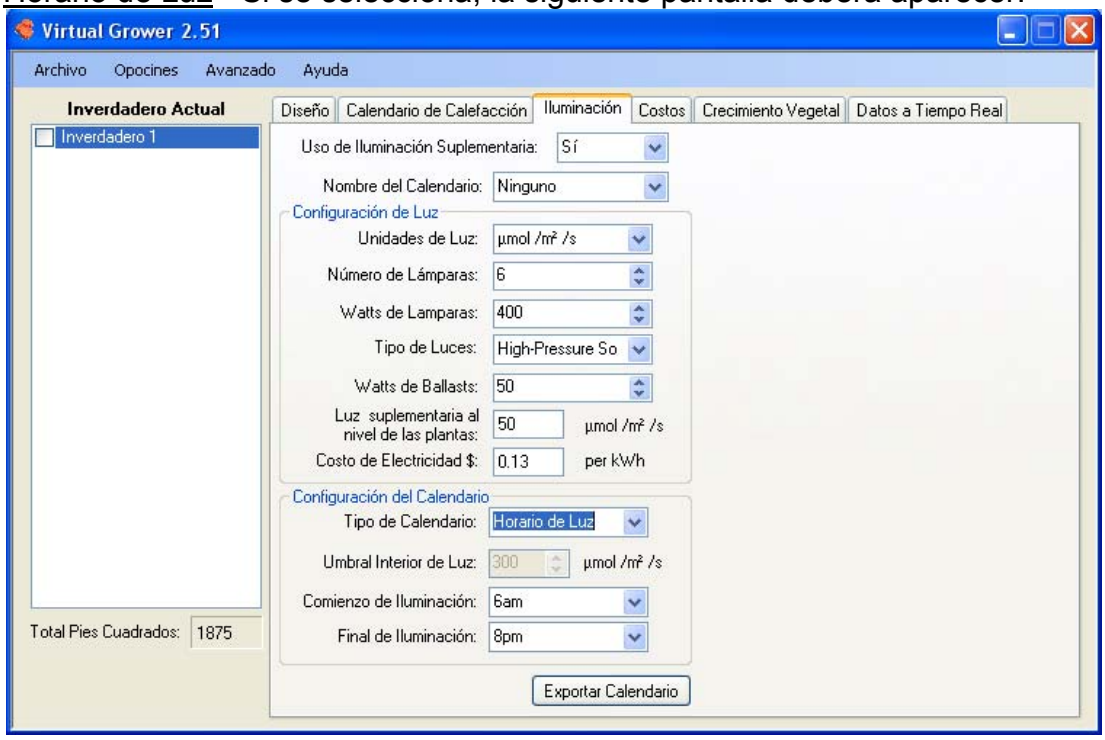
En la parte derecha de esta pantalla, usted puede activar, hora por hora, el sistema de luz descrito en el Calendario de Luz. Esto es útil para los tratamientos de interrupción programada de la noche o para tomar ventaja y conocer los períodos de bajo costo de la electricidad en su área.

Umbral - Si se selecciona, la siguiente pantalla deberá aparecer:



Esta configuración es útil para activar el sistema de iluminación cuando la luz dentro del invernadero cae por debajo del umbral en determinados momentos. El umbral se introduce (note que las unidades son las mismas que las unidades

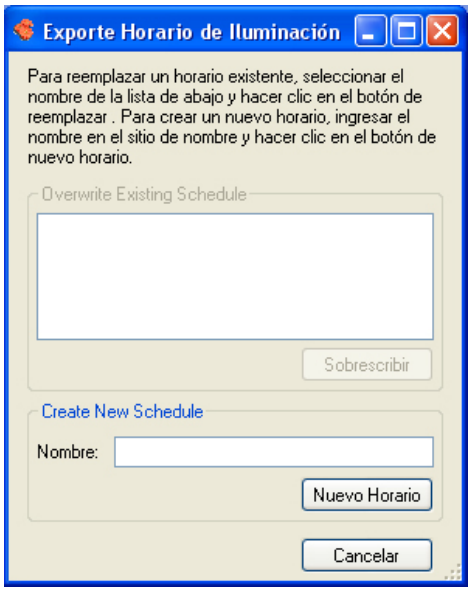
seleccionadas en la sección Configuración de luz) y los tiempos durante el día son seleccionados durante el cual el umbral se utilizará.
Horario de Luz - Si se selecciona, la siguiente pantalla deberá aparecer:



Esta configuración es útil para activar el sistema de iluminación durante un único y constante período ya sea de día o de noche, independientemente de otros factores. El usuario elige el comienzo y el final para cuando las luces están activadas y desactivadas.

Calendario de Exportación

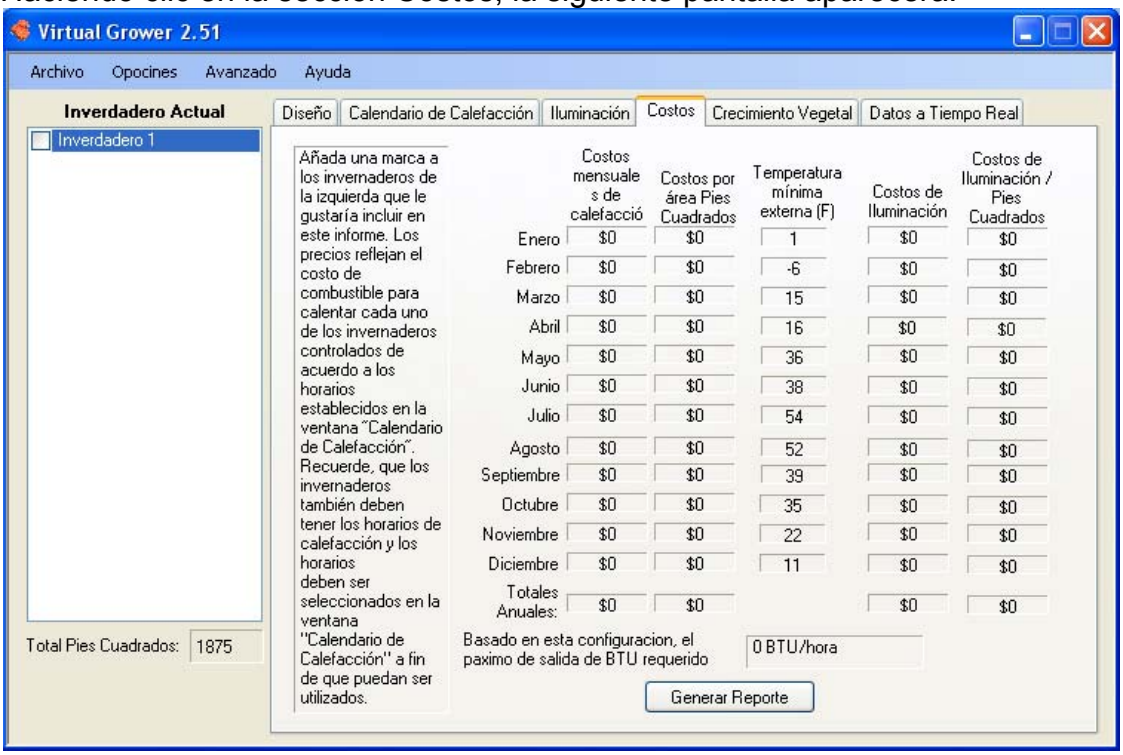
Este botón le permite una configuración de iluminación específica que se aplicará a otros invernaderos en el mismo período de sesiones de simulación o el mismo archivo. Cuando se hace clic en este botón, la pantalla que aparecerá será la siguiente:



Proporcionando el nombre del programa de iluminación y haciendo clic en "Nuevo Calendario" guardará esta configuración de iluminación en el archivo de simulación/archivo del invernadero, después usted volverá a la página de iluminación. Este programa puede ser aplicado a más de un invernadero, seleccionando el nombre del invernadero en el lado izquierdo de la pantalla, seleccione "sí" a la iluminación suplementaria, y seleccionando el nombre del nuevo calendario de la lista desplegable.

Costos

Haciendo clic en la sección Costos, la siguiente pantalla aparecerá:



La pantalla que usted verá a continuación dependerá de su ubicación (ciudad y estado seleccionado en la página principal), configuración de iluminación, y el número y tipo de invernaderos en su sesión.

En la mitad derecha de la pantalla, usted encontrará una lista de los meses, el total de los costos mensuales de calefacción, los costos por área, una lista de la temperatura mínima para cada mes, los costos de electricidad mensuales, los costos totales anuales de calefacción y calefacción por zona, y los costos de iluminación. También se muestra un "máximo de BTU necesarios" que se puede utilizar para ayudar a predecir el tamaño necesario de los calentadores para calentar el invernadero (s) seleccionado para el análisis. Tenga en cuenta que si más de un invernadero es seleccionado (casilla marcada) a la izquierda de la ventana, este cuadro de máximo BTU predecirá el total máximo BTU de todos los invernaderos seleccionados. Véase el Apéndice 4 sobre cómo se calcula la salida de máximos BTU.

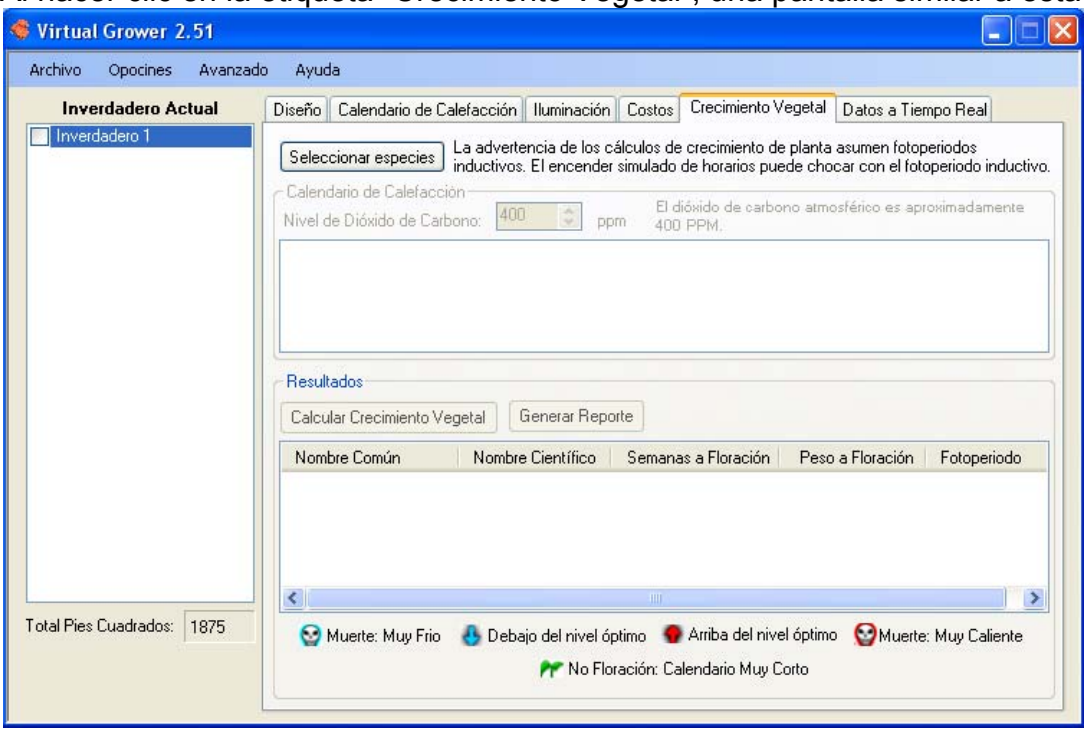
Nota: Tenga en cuenta que el estimador de costos no calculará los costos hasta que uno o varios invernaderos sean seleccionados (con una marca en la casilla que aparece junto al nombre del invernadero) y un calendario de calefacción sea asignado a los invernaderos controlados. Los costos mensuales serán mostrados y reflejará la estructura del invernadero, el tamaño, los materiales, y estilo, así como los calendarios de calefacción, tipos de combustible para los invernaderos, las cortinas de energía y los calendarios de iluminación que fueron asignados a los distintos invernaderos.

Generando un Reporte

Al hacer clic sobre este botón, se abre otra ventana con un texto que describe la configuración actual (consideraciones de diseño del invernadero, tipos de combustible, etc.). Puede seleccionar y copiar esta información a otro programa de procesamiento de textos para realizar un seguimiento de múltiples escenarios con facilidad o puede guardar este informe haciendo clic en el botón Guardar Informe. El archivo guardado es un archivo .txt que se puede abrir en la mayoría de aplicaciones de procesamiento de textos.

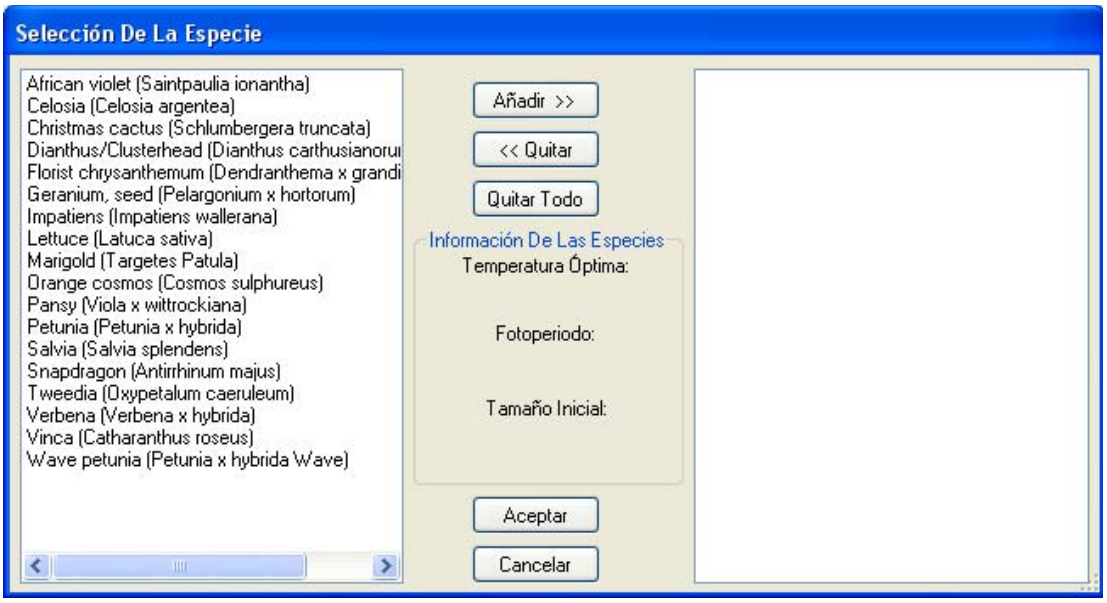
Crecimiento Vegetal

Al hacer clic en la etiqueta “Crecimiento Vegetal”, una pantalla similar a esta aparecerá:

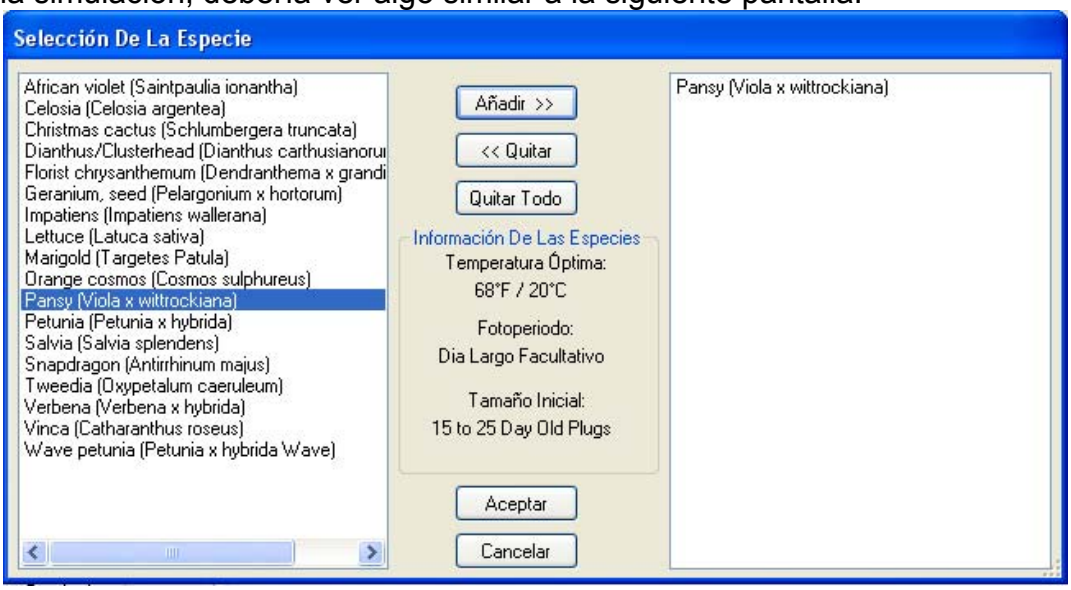


Seleccionando especies

El crecimiento de las plantas dentro de las simulaciones *Virtual Grower* se basa en una base de datos de 18 cultivos. Para seleccionar las especies de su interés, haga clic en el botón "Seleccionar especie" en la parte superior. La siguiente pantalla aparecerá:



Los cultivos están organizados en orden alfabético por el nombre común (más comúnmente usado basado en artículos populares de prensa, páginas web, y artículos de revistas) y nombre científico en latín (género-especie). Para seleccionar una especie se hace clic en la planta ubicada en la izquierda y haga clic en el botón Agregar. Después de agregar esta planta, la planta aparecerá en la lista de la derecha de esta ventana. Por ejemplo, si selecciona la popular planta Pansy (Pensamiento) y la añade a la simulación, debería ver algo similar a la siguiente pantalla:



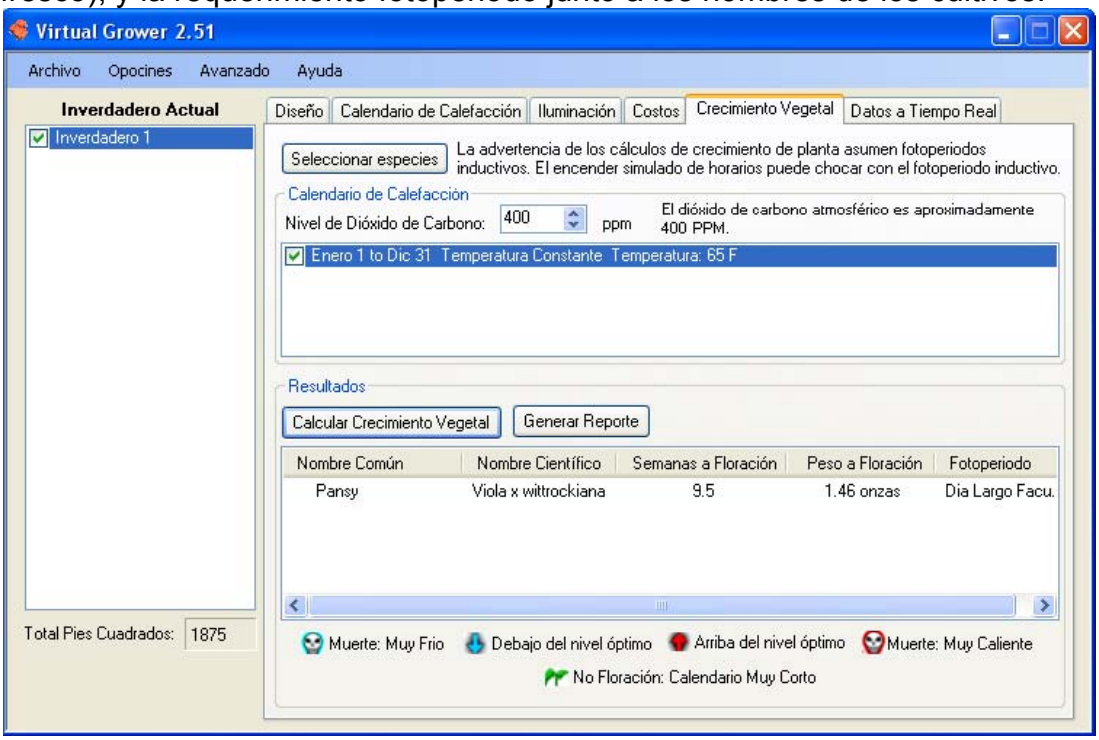
No existe un límite al número de plantas que pueden ser seleccionadas y simuladas. En la mitad de esta pantalla, se provee información adicional acerca la temperatura óptima y requerimientos de fotoperiodo para dichas especies. También se incluye una referencia del tamaño inicial de la planta en que se han basado los modelos de crecimiento y desarrollo. La temperatura óptima se muestra en el centro de esta pantalla (~ 5-7 °F, 3 °C) como el rango de "temperatura óptima" para el desarrollo.

Si ha seleccionado una de las especies y ya no desea incluirla en las simulaciones, puede removerla al seleccionarla en el cuadro de las especies

seleccionadas y haga clic una vez en el botón Remover. Para empezar de nuevo se puede hacer clic una vez en el botón Remover Todos. Después de que todas sus especies han sido seleccionadas, haga clic en el botón OK para volver a la ficha de Crecimiento Vegetal.

Calculando Crecimiento Vegetal

Para simular el crecimiento de la planta, un programa de calefacción creado en las secciones anteriores se deberá seleccionar para el invernadero. Esta acción aplica un ambiente específico para las especies seleccionadas y permite predicciones de crecimiento de la planta (tamaño, en peso fresco) y desarrollo (tiempo a floración). Una vez seleccionado el programa de calefacción, se activarán dos botones en la sección de Resultados. El botón de Calcular Crecimiento Vegetal simulará el crecimiento y desarrollo de las especies seleccionadas y dará los valores de tiempo a floración (semanas a floración), tamaño de la planta a floración (onzas o gramos de peso fresco), y la requerimiento fotoperiodo junto a los nombres de los cultivos.



Las simulaciones para predecir el desarrollo asumen que el fotoperiodo inducido se utiliza para la producción, pero para su comodidad, el fotoperiodo requerido para el desarrollo adecuado se presenta en el reporte. En la lechuga, el único cultivo de hortalizas en *Virtual Grower* 2.5, solo se predice para el crecimiento (tamaño). En lugar de tiempo a floración, dos tamaños son reportados por las dos longitudes de producción (4 y 6 semanas de crecimiento). **Tenga en cuenta que si se utiliza la iluminación suplementaria y el resultado del calendario contradice el fotoperiodo inducido para esta especie, no aparecerá ninguna advertencia.**

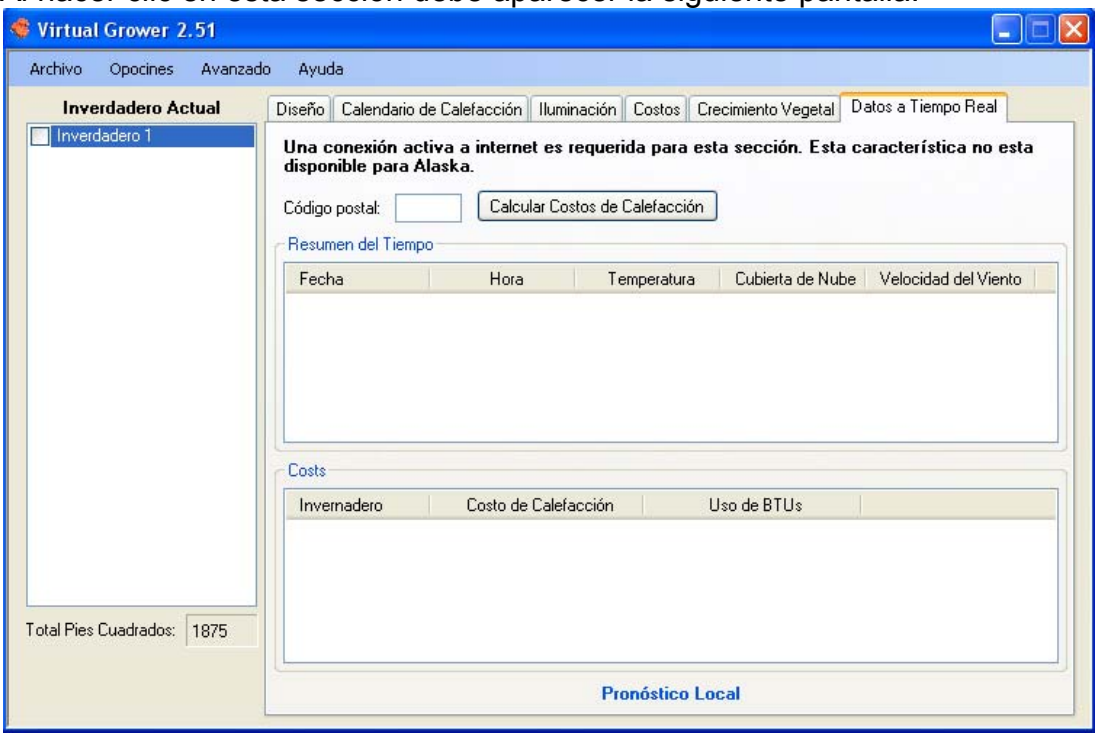
Virtual Grower ha desarrollado un conjunto de símbolos de advertencia cuando las plantas no están experimentando su ambiente óptimo. Estos símbolos aparecen a

la izquierda del nombre de la planta después de que el crecimiento se ha simulado. Estos símbolos deben guiar al usuario para optimizar el ambiente ya sea para un cultivo determinado o advertir al usuario cuando el rendimiento puede verse afectado si la planta crece en dicho ambiente simulado. Véase el Apéndice 7 para los significados de los símbolos. Los símbolos se basan en la temperatura óptima para el desarrollo (de los cultivos florícolas) o el crecimiento vegetativo (lechuga).

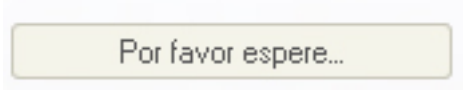
La concentración de CO_2 se puede cambiar para diferentes simulaciones. El valor predeterminado es de 400 partes por millón (ppm; también μ mol mol^{-1}) y puede ser aumentado o disminuido en incrementos de 25 ppm. En la actualidad, diferentes concentraciones de CO_2 sólo afectará al tamaño de la planta de CO_2 a la floración (es decir, afectará el crecimiento de la planta), no la tasa de desarrollo.

Datos a Tiempo Real

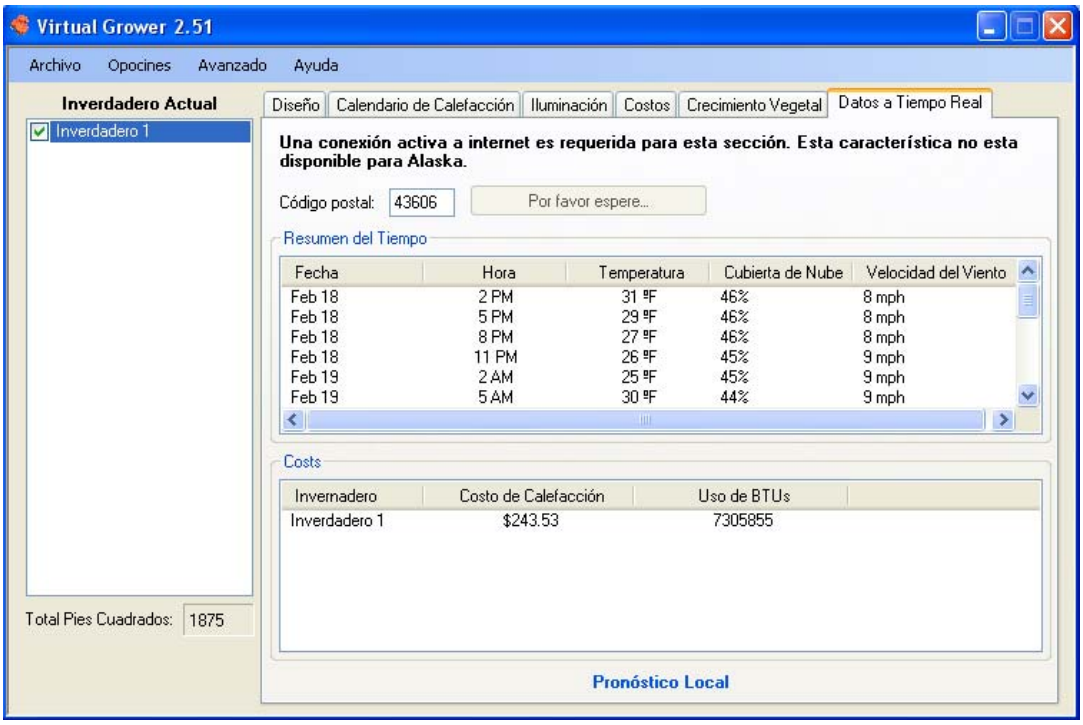
Si usted tiene conexión a Internet, la sección de Datos a Tiempo Real puede permitir que usted compruebe los gastos de calefacción durante los próximos dos días. Al hacer clic en esta sección debe aparecer la siguiente pantalla:



Cerca de la parte superior de la pantalla, hay una caja en la que usted puede escribir su código postal de cinco dígitos. Cuando el código ha sido introducido, haga clic una vez sobre el botón "Calcular Costos de Calefacción". El siguiente cuadro debe aparecer:



Durante este tiempo, *Virtual Grower* estará obteniendo dos días de pronóstico de la pagina web forecast.weather.gov que sean específicos de su código postal. En pocos segundos, el pronóstico aparecerá en el cuadro superior, desglosado en incrementos de 3 horas, y los costos para cada invernadero seleccionado y su uso de BTU aparecerá en el cuadro inferior, como aparece a continuación:



La predicción de los costos de calefacción (y la pantalla que usted verá) depende de la simulación de invernaderos y del horario de calefacción. Esta característica solo funciona para el territorio de USA, con excepción de Alaska.
El botón junto a la casillero del código postal se quedará en el modo "por favor espera…" por un minuto. Esto es para prevenir demasiadas llamadas de datos al sitio web, y disminuye el riesgo de que el sitio web se cuelgue.
En la parte baja de la pantalla, usted puede hacer clic en el pronóstico local. Haciendo clic lo llevara al sitio web forecast.weather.gov, y si usted ingreso un código postal en el casillero superior, la pantalla de pronóstico le mostrara el radar en esa ubicación. Esto es útil para verificar que el código postal este funcionando apropiadamente.

Opciones adicionales del Menú

Importe -> Invernaderos

Esta herramienta permite cargar invernaderos anteriormente guardados en el *Virtual Grower*, como la función normal de "Ajustes de Carga". Sin embargo, en deber

de reemplazar algún invernadero en el que usted trabaja actualmente, la función de importación los agregará a la lista.

Por ejemplo, si usted tuvo un archivo de invernadero guardado junto con dos invernaderos y trabajaba en otros dos, importando el archivo guardado agregaría dos invernaderos a la lista siendo en total cuatro.

Al guardar sus ajustes guardara todos los invernaderos a un nuevo archivo, no a los archives desde donde usted importo. También note que cualquiera de los horarios planificados asociados con los invernaderos del archivo de importación también será añadida a lista de horarios planificados del *Virtual Grower*.

Para utilizarlo, en el principal menú, hacer clic en 'Archivo,' después ' Importar,' y por último "Invernaderos". Una ventana aparecerá arriba y le preguntara cual archivo de invernadero le gustaría importar. Usted puede escoger de los archivos guardados de invernadero que haya preparado en el *Virtual Grower*. Encuentre el archivo que usted quiera, selecciónelo, y haga clic en ‘Cargar’. Los invernaderos de ese archivo entonces serán añadidos a la lista.

Importar --> Horarios planificados

Esta herramienta le permite usar los horarios planificados que usted o a alguien más haya realizado anteriormente en el *Virtual Grower*. Al importar un archivo de "Horarios planificados", todos sus horarios guardados serán añadidos a la lista de *Virtual Grower* de horarios planificados y estarán inmediatamente disponibles para usar en cualquiera de sus invernaderos. Note que una vez que los horarios planificados hayan sido importados, estos estarán en la lista de *Virtual Grower* hasta que usted los borre, incluso si usted reinicia el programa. Esto significa que usted sólo necesitara importar el conjunto de horarios dados una vez, mientras usted no los borre.

Para utilizarlo, en el menú principal, hacer clic en 'Archivo,' después "Importar", y por último "Horarios planificados". Una ventana aparecerá arriba y le preguntara el nombre del archivo del cual usted quiere importar los horarios. Usted puede escoger de cualquiera de los archivos exportados de horarios planificados hechos por el *Virtual Grower*. Buscar el archivo que desea, selecciónelo, y haga clic en "Carga”. Los horarios guardados en ese archivo entonces serán añadidos a la lista.

Exportar --> Horarios planificados

Esta herramienta le permite guardar cualquier horario planificado que *Virtual Grower* utiliza a un archivo separado. Esto puede ser utilizado luego para recuperar esos horarios en caso lleguen a ser borrados o cambiados y también le permite compartir horarios planificados con otros usuarios de *Virtual Grower*.

Para utilizarlo, en el menú principal, hacer clic en 'Archivo’, después en 'Exportar’, y por último en ‘Horarios planificados’. Una ventana aparecerá arriba y le preguntara que seleccione un nombre de archivo y ubicación para archivar sus horarios planificados. Escribir un nombre en el casillero y escoja una carpeta apropiada y

después haga clic en "Guardar". Todos sus horarios modificados ahora serán llevados al nuevo archivo.

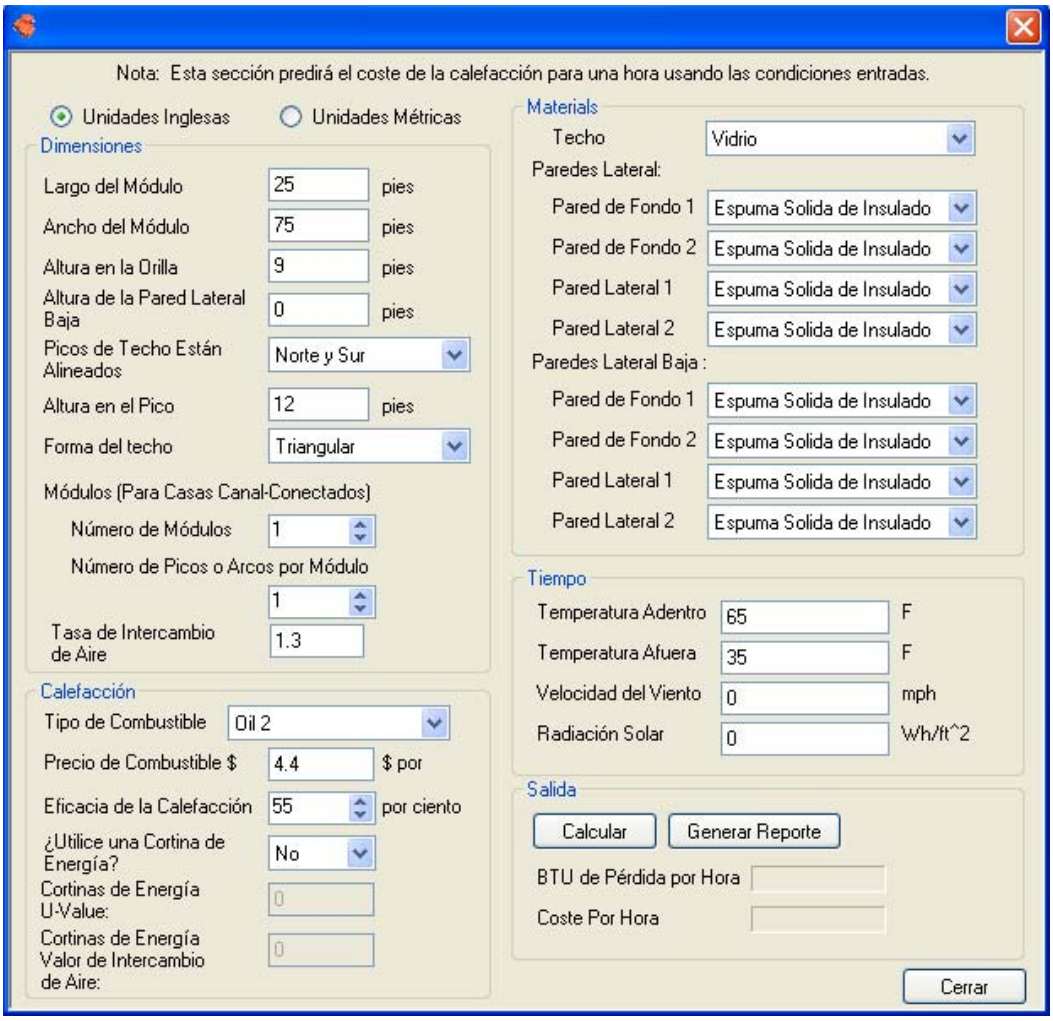
Unidades

Virtual Grower permite la selección de unidades inglesas o métricas. En la ventana de Opciones en el lado superior izquierdo, usted puede escoger unidades inglesas o métricas haciendo clic ahí o junto a su selección de unidades. Esto cambia las unidades a esa convención a través del programa.

Análisis

Esta opción permite al usuario a hacer casi todo lo que el resto del *Virtual Grower* puede hacer por una sola hora y para un clima especificado por el usuario. Esto fue instalado para un específico escenario "en caso de" y para dar al usuario más confianza en los números generados- eso es que la salida tiene sentido simple debido a las condiciones ambientales estables del exterior.

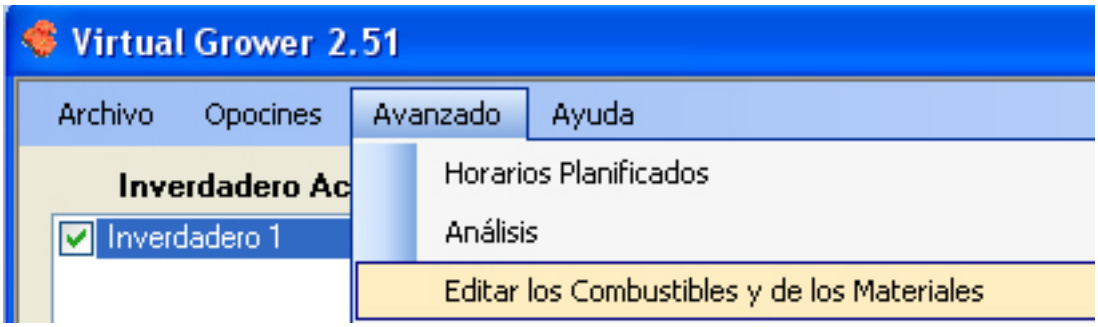
Bajo el menú Avanzado, escoja "Análisis" y la pantalla siguiente debe parecer:



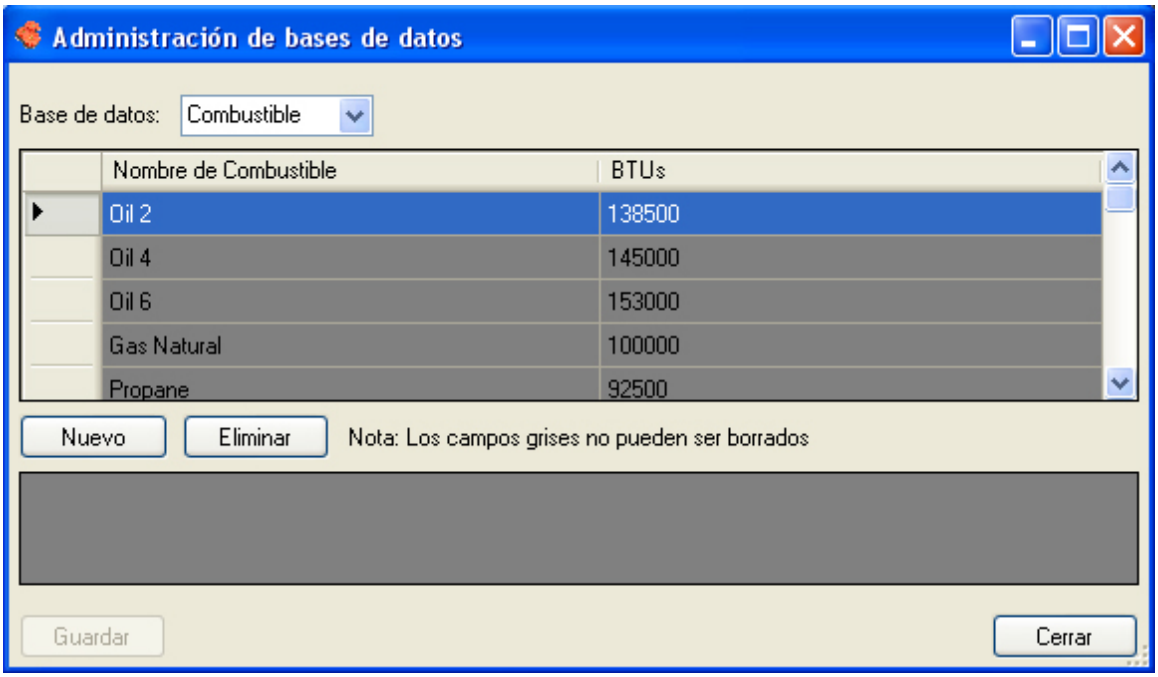
El tamaño del invernadero, opciones de materiales, características del combustible, y la salida son todos similares a las secciones expandidas. En el casillero del clima, el usuario puede seleccionar la temperatura interior, exterior, velocidad del viento, y radiación solar, todo como constantes. Al terminar, el usuario puede generar y guardar los reportes de esta sección así como en la sección de Costo en el programa principal.

Editar Combustibles y Materias

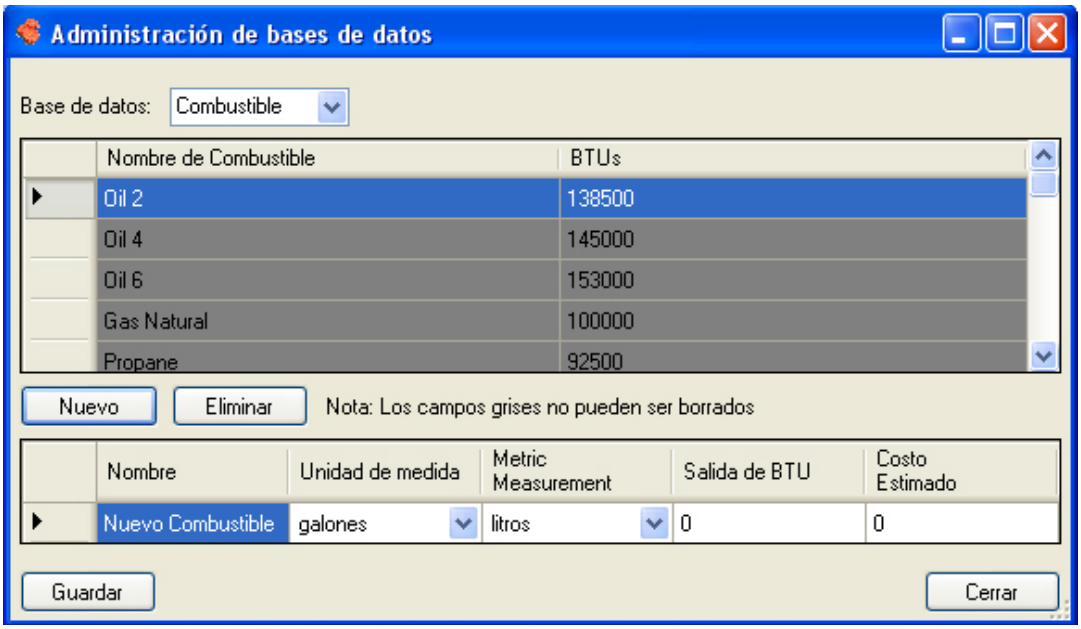
Introducidos en la versión 2.5, un usuario puede ahora entrar y poder probar nuevos combustibles y las materiales. Al hacer clic en la opción Avanzada de la parte superior de cualquier página dejará caer una lista que incluye Editar Combustibles y Materias:



Seleccionando esto resultara en esta página:



Cerca de la parte superior izquierda de la pantalla, usted podrá seleccionar la base de datos para modificar, con la selección de Combustible o Material. Cuándo la selección de base de datos es hecha, haciendo clic en el botón "Nuevo" mostrará casilleros disponibles vacíos y para llenar en la parte inferior de la pantalla:



El usuario puede entrar el nombre de combustible o material y otra información clave. Haciendo clic en el botón "Guardar" agregará el combustible o el material a la base de datos, y cuando el usuario entre las secciones básicas de simulación, ellos pueden utilizar estos nuevos combustibles o las materias en sus simulaciones.

Es imposible cambiar el combustible básico, pre-programado y los tipos de materiales incluidos en la instalación de software.

Ayuda

Una versión electrónica de este manual puede ser encontrada en la ventana de Ayuda así como créditos, reconocimientos, y otras referencias útiles. Si usted tiene alguna pregunta o comentarios y no puede encontrar la información en este manual ni en la sección Acerca, siéntase libre de contactarnos a USDA-ARS@utoledo.edu.

Algunas Suposiciones de *Virtual Grower* 2,5

Clima en la ubicación

La información del clima no son valores promedios por un periodo de tiempo, pero valores típicos o representativos para esa fecha y tiempo. Esto significa que en su ubicación, el mes de enero usado en el programa es de 1974 y el mes de febrero es de 1982. Esos años fueron escogidos porque ellos representan meses "típicos" en esa ubicación.

Un método alternativo de calcular los requisitos de calefacción de un edificio es el uso de un modelo “Días de Grado de Calefacción [Heating Degree Day]”. Este método basa las necesidades de calefacción en la temperatura promedio de un día. Si la temperatura promedia está por debajo de 65 F (18 C), la calefacción es requerida. Una lista de heating degree days para ubicaciones diferentes puede ser encontrada en www.nrcc.cornell.edu/ccd/nrmhdd.html. Los heating degree days que el *Virtual Grower* predice y esta base de datos están relacionados cercanamente (típicamente menos de 1%). En algunos días sin embargo el modelo de días de grado de calefacción predice que no se necesita calor mientras que el *Virtual Grower* predice que cierta cantidad de calor es necesitado. Por ejemplo, asuma que su invernadero esta ajustado a 65 F. Si una ubicación (hipotética) tiene una temperatura promedia de 65 F, de 75durante 12-h del día, y de 55 en la noche, *Virtual Grower* calentaría la casa por 12 horas (durante la noche) y el modelo de días de grado de calefacción predeciría que no se necesita calor.

Aislamiento del invernadero

Actualmente, cada invernadero es tratado como una estructura autónoma con ningunas paredes compartidas con otras casas o estructuras. Esto influiría en la pérdida de calor o ganancia y tendría potencialmente un impacto significativo en los costos generales de calefacción de los diversos invernaderos.

Humedad

Actualmente, todos los cálculos asumen aire seco. Esta suposición reduce el tiempo de cálculo, pero ignoraría asuntos como calor latente (evaporación y condensación) y cambios en la humedad fuera del invernadero causando cambios dentro del invernadero. En la Versión 2,0, un multiplicador fue insertado (ver Apéndice 5, Ganancia de Calor por Radiación Solar) para justificar parte del efecto debido a evaporación por transpiración. Todavía, con un solo multiplicador, el efecto de calor latente es asumido constante.

¿Errores? ¿Preguntas? ¿Problemas? ¿Sugerencias?

Contáctenos a (USDA-ARS@utoledo.edu). Esto es un trabajo en curso y con su ayuda, nosotros podremos mejorar el *Virtual Grower* y esto podrá suplir mejor sus necesidades. Por favor denos sus sugerencias – ¡QUEREMOS OIR DE USTEDES!

Apéndice 1: Contenido energético del combustible utilizado en *Virtual Grower 2.5*

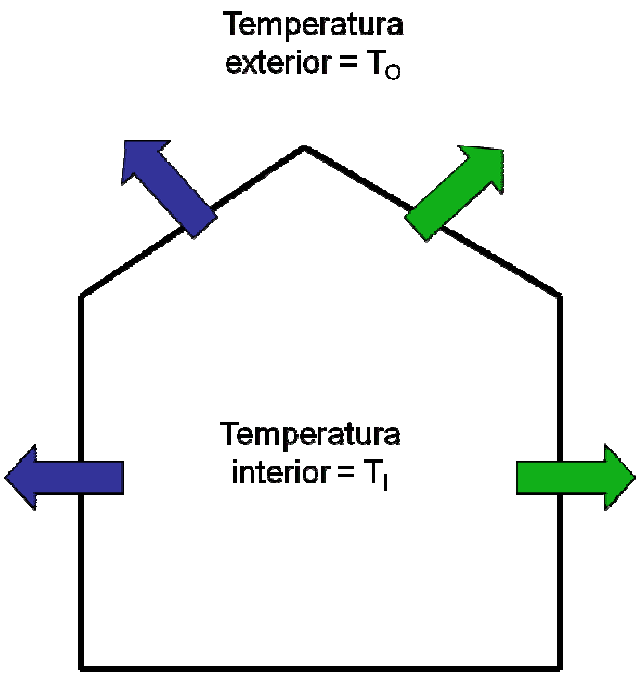
(todos los tipos de combustible están en Inglés).

Tipo de combustible	Energía (btu)	Unidades para las cantidades energéticas
Fuel Oil #2	138,500	Gallon
Fuel Oil #4	145,000	Gallon
Fuel Oil #6	153,000	Gallon
Natural Gas	100,000	Therm
Propane	92,500	Gallon
Hard Coal	26,000,000	Ton
Soft Coal	24,000,000	Ton
Electricity	3,412	kWh
Methane	1,000	ft^3
Methanol	57,000	Gallon
Landfill Gas	500	ft^3
Butane	130,000	Gallon
Ethanol	76,000	Gallon
Kerosene	135,000	Gallon
Waste Oil	125,000	Gallon
Biodiesel	120,000	Gallon
Gasoline	125,000	Gallon
Soft Wood	12,500,000	Cord
Hard Wood	21,000,000	Cord
Hogged Wood	18,000,000	Ton
Sawdust (green; 45% moisture)	9,000,000	Ton
Sawdust (dry)	16,000,000	Ton
Wood Chips	7,600,000	Ton
Bark	9,750,000	Ton
Wood Pellets (10% moisture)	16,000,000	Ton
Rubber Pellets	33,000,000	Ton
Plastic	19,000	lb
Corn Shells	16,000,000	Ton
Corn Cobs	16,500,000	Ton
Switchgrass	11,625,000	Ton

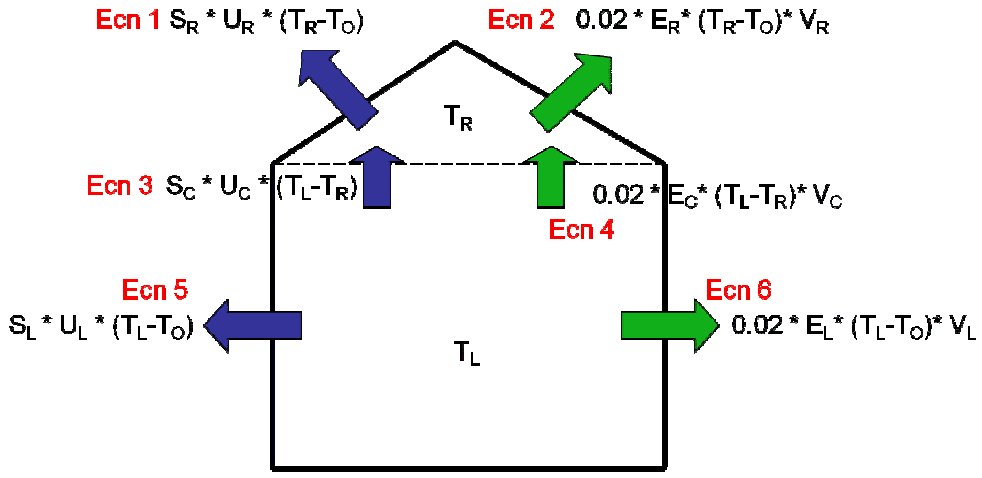
Valores fueron obtenidos de Bartok, J.W. Jr., 2005, floriculture fact sheet from U Mass Extension: http://www.umass.edu/umext/floriculture/fact_sheets/greenhouse_management/jb_fuels.htm

Apéndice 2: Suposiciones de las cortinas de energía

La característica de la cortina de energía del *Virtual Grower* es una aproximación que no depende de una desviación constante o “factores fabricados” creados para cambiar las propiedades energéticas de la raíz por una cantidad constante. El impacto que una material de cortina hace a través de su valor inherente de aislamiento, así como de su capacidad de inhibir mezclas de aire de la sección superior a la sección más bajo es considerado en los cálculos. Para ilustrar más específicamente en cómo los cálculos de cortina fueron considerados y ejecutados, lea la descripción de abajo.
Hemos procurado colocar una división entre las secciones superiores e inferiores del invernadero en el software y tratar el invernadero como dos partes si es que una cortina está en lugar antes que un invernadero con diferentes características de pérdida o ganancia de calor. Conceptualmente, consideramos que un invernadero pierde calor en la noche por el techo y de los lados por conducción (flechas azules) y por convección (flechas verdes; por simplicidad del dibujo, nosotros mostramos solo un tipo de pérdida de energía por un solo lado del invernadero) si la temperatura interior (T_I) es mayor que la temperatura exterior (T_o).



Si una cortina de energía es agregada, el invernadero todavía pierde calor de los lados y del techo. Sin embargo, desde que el volumen del invernadero encima de la cortina de energía no es calentado activamente, hay otro flujo de calor que va desde la sección baja a la sección superior tanto que la temperatura dentro de la parte más baja (T_L) sea más alto que la temperatura de la sección superior (T_R).



Si T_L es mantenido en el setpoint, la temperatura en la sección superior (T_R) alcanzará un equilibrio entre T_O y T_L, que dependerá de T_O, T_L, como de las propiedades térmicas y del intercambio de aire del techo y de la cortina de energía así como los tamaños del techo y de la cortina de energía. Matemáticamente, esto es:

Perdida de calor en el techo = $[S_R * U_R * (T_R – T_O)] + [0.02 * E_R * (T_R – T_O) * V_R]$
Pérdida de Calor de la Cortina = $[S_C * U_C * (T_L – T_R)] + [0.02 * E_C * (T_L – T_R) * V_C]$

Sea S_R el área del techo, U_R el valor -U del material de techo, E_R los intercambios de aire debido a la merma o infiltración a través del techo, V_R es el volumen de aire encima de la cortina de energía, S_C es el área de la cortina de energía, U_C es el valor-U de la cortina de energía, E_C los intercambios de aire cambios aéreos debido a merma o infiltración de la cortina de energía. Ecuación 5 y 6 en la figura de arriba será definida luego. Para conseguir que la temperatura por arriba de la cortina se estabilice, la cantidad de calor ganado por la cortina debido a el calentamiento de la parte baja del invernadero y la cantidad de calor perdido al aire libre deben ser igual:

$[S_R * U_R * (T_R – T_O)] + [0.02 * E_R * (T_R – T_O) * V_R] = [S_C * U_C * (T_L – T_R)] + [0.02 * E_C * (T_L – T_R) * V_C]$

Resolver para T_R:

$[(S_R * U_R * (T_R – T_O)) + (0.02 * E_R * (T_R - T_O) * V_R)] – [(S_C * U_C * (T_L – T_R)) + (0.02 * E_C * (T_L – T_R) * V_C)] = 0$

$(S_R * U_R * T_R) – (S_R * U_R * T_O) + (0.02 * E_R * V_R * T_R) – (0.02 * E_R * V_R * T_O) – (S_C * U_C * T_L) + (S_C * U_C * T_R) – (0.02 * E_C * V_C * T_L) + (0.02 * E_C * V_C * T_R) = 0$

$(S_R * U_R * T_R) + (0.02 * E_R * V_R * T_R) + (S_C * U_C * T_R) + (0.02 * E_L * V_L * T_R) = (S_R * U_R * T_O) + (0.02 * E_R * V_R * T_O) + (S_C * U_C * T_L) + (0.02 * E_C * V_C * T_L)$

$T_R * [(S_R * U_R) + (0.02 * E_R * V_R) + (S_C * U_C) + (0.02 * E_L * V_L)] = (S_R * U_R * T_O) + (0.02 * E_R * V_R * T_O) + (S_C * U_C * T_L) + (0.02 * E_C * V_C * T_L)$

$T_R = [(S_R * U_R * T_O) + (0.02 * E_R * V_R * T_O) + (S_C * U_C * T_L) + (0.02 * E_C * V_C * T_L)] / [(S_R * U_R) + (0.02 * E_R * V_R) + (S_C * U_C) + (0.02 * E_L * V_L)]$

Todas las variables son conocidas o estimadas y por lo tanto, T_R puede ser calculado (ver Apéndice 3 para los valores-U de los materiales). En el *Virtual Grower*, los flujos de energía son calculados cada hora basada en la base de datos histórica para cada ubicación por lo que T_R cambia cada hora basada en la temperatura exterior (y si hay cualquier horario de planificación utilizado para ese invernadero).

FLUJO TOTAL DE ENERGIA CON CORTINAS DE ENERGIA

Una vez que T_R es calculado, la pérdida por hora de calor de un invernadero es el resultado de la suma de Ecuación 1, Ecuación 2, Ecuación 5 y Ecuación 6 (de la figura arriba), donde S_L es la área de la sección más baja, U_L es el valor-U de los materiales en cada pared de la sección más baja, E_L es la velocidad de intercambio de aire de la sección más baja, y V_L el volumen de la parte baja.

CUIDADO:
Este cálculo no tiene en cuenta el flujo de energía de la radiación. Las pérdidas de la energía de este componente pueden ser significativas y podrían causar que las suposiciones usadas en los cálculos de cortinas de energía del *Virtual Grower* 2,5 sobreestimen el impacto de tener cortinas de energía. Además, continuamos con la suposición de aire seco para todos flujos de aire/calor y no tenemos en cuenta el impacto de almacenamiento de calor del suelo y materiales.

La característica de la cortina de energía sólo es activada de noche, que es basado en la ubicación del país y no por el horario de calefacción. Funcionalmente, la cortina actúa como si al cerrar los cierres instantáneamente anocheciera, luego al abrirlos instantáneamente amaneciera.

Apendice 3: U-valores para materials

(todos los materiales de la cortina de la energía son en Inglés).

Materiales	**U-value (Btu hr^{-1} $°F^{-1}$ ft^{-2})**	**Transmitancia de Luz(%)**
Vidrio	1.13	0.75
Vidrio con doble capa	0.65	0.70
Fibra de vidrio	1.00	0.75
Polycarbonato corrugado	1.20	0.75
Polietileno	1.15	0.65
Polietileno con doble capa	0.70	0.60
Policarbonato pared doble	0.65	0.60
Policarbonato pared triple	0.58	0.56
Acrilico pared doble	0.65	0.60
IR pelicula	1.00	0.65
IR pelicula doble lamina	0.61	0.60
Espuma solida de insulado	0.23	0
Bloque de concreto	0.51	0
Concreto puro	0.75	0
Concreto para insulado	0.13	0
Cortinas de Energia		**Infiltración de Aire (Perdida por hora)**
Mobile air curtain	0.68	1.5
Stationary air curtain	0.54	1.5
White spun bonded polyolefin film	0.51	0.7
Grey spun bonded polyolefin film (light)	0.56	1.5
Clear polyethylene film	0.45	0.4
Black polyethylene film	0.48	0.4
Grey spun bonded polyolefin film (heavy)	0.43	1.0
Aluminum-clear vinyl fabric	0.40	0.7
Tela con aluminio	0.39	0.9
Aluminum-black vinyl fabric	0.63	0.7
Double layer spun bonded polyester	0.53	1.0

Los valores fueron obtenidos de Bartok, J.W. Jr., 2005, floriculture fact sheet from U Mass Extension:
http://www.umass.edu/umext/floriculture/fact_sheets/greenhouse_management/jb_fuels.htm
y Aldrich, R.A. & J.W. Bartok Jr. 1994. Greenhouse engineering. NRAES. Ithaca, NY.

Apéndice 4: Cómo la máxima salida de BTU es calculada

Esta característica de la pestaña de Costos es diseñada para ayudarlo en el dimensionamiento de caldera o calentador. Es simple, el valor reportado es la mayor velocidad de pérdida de calor para el diseño de su invernadero, ubicación, y horario de calefacción.
El programa puede calcular la pérdida de calor para un invernadero por cada hora en un año u otro tiempo seleccionado basado en su horario de calefacción. Después de calcular el flujo de calor por cada hora, el mayor número es reportado. Este número también es basado en el número de invernaderos seleccionados, pues si más de un invernadero fue diseñado en la fase de diseño, la máxima salida de BTU reportado asumirá que todos los invernaderos seleccionados están conectados de un solo calentador/caldera. Cuando se usa esta característica, recuerda que los valores son basados en el clima TIPICO a esa ubicación y no estima acontecimientos de climas muy fríos (es decir una ola de frío o inversión térmica). Por lo tanto, usted podrá necesitar adicionar más BTU para "escalar" su caldera del invernadero para justificar esos acontecimientos. Esta decisión es basada en el clima y también en la tolerancia del riesgo del cultivador para extremos acontecimientos de clima.

Apéndice 5: Cálculo del Flujo de Energía

Virtual Grower usa dos ecuaciones básicas para calcular el flujo de energía en el invernadero. Una es para la conducción, la transferencia de calor mezclando aire exterior frío con aire tibio del invernadero, y la segunda es para la convección, la transferencia de calor que se consigue mezclando aire exterior frio con aire caliente del invernadero. Cuando se calcula la perdida de calor de cualquier estructura de invernadero, ambas ecuaciones son tenidas en cuenta, en cierta medida.

Las ecuaciones que hemos utilizado las hemos obtenido de *Aldrich y Bartok, 1994, Greenhouse Engineering, NRAES publication 33*, y están resumidas debajo:

Conducción

Para calcular la conducción de cualquier superficie de invernadero, se usan cuatro valores; las temperaturas de cualquier lado de la superficie (normalmente la temperatura establecida del invernadero y la actual temperatura exterior), el área de la superficie, y una constante conocida como el valor U del material de la superficie (Ver apéndice 3 para valores U). El valor U representa una cantidad típica de energía calórica que cruzará un área determinada de material por grado de diferencia entre la temperatura interior y exterior. Multiplicando estos dos valores se puede hallar la cantidad de calor perdida por dicha superficie en una hora. Por ejemplo, si la temperatura de un invernadero pequeño fue fijada en 65 °F y la temperatura exterior es de 45 °F, una superficie de vidrio de 100 pies cuadrados con un valor U de 1.13 BTU/pie cuadrado–°F-hora tendría la siguiente pérdida de calor:

(65 F – 45 °F) · 100 pies cuadrados · 1.13 BTU/pie cuadrado-°F-hora = 2260 BTU/hora

Finalmente, este valor puede ser multiplicado por un factor de corrección para tener en cuenta el efecto del viento. Ver Apéndice 6 para una lista de los factores de corrección usados.

Convección

Para calcular la convección de un invernadero determinado, se usan cuatro valores; la temperatura interior y exterior del invernadero, el volumen de aire dentro del invernadero, y un factor de corrección que representa la filtración relativa de la estructura del invernadero. Multiplicando la diferencia entre las dos temperaturas por el volumen y el factor de corrección se puede obtener una estimación de la perdida de calor. Por ejemplo, si la temperatura exterior fuera de 45 °F, la temperatura interior fuera mantenida a 65 °F, el volumen del invernadero fuera de 5000 pies cúbicos, y si se asumiera que el invernadero tuviese una filtración promedio (factor de corrección = 0.02 BTU/pie cubico-°F-hora), la cantidad de calor perdida por hora debido a la convección seria de:

(65ºF - 45ºF) · 5000 pies cúbicos · 0.02 BTU/pie cubico-°F-hora = 2160 BTU/hora

Como con la conducción, un factor de corrección puede ser aplicado para tener en cuenta el efecto del viento – ver Apéndice 6.

Calculando la pérdida de calor total

Para estimar toda la energía calórica perdida por una determinada estructura, la conducción es calculada para cada pared, cada porción de la base de la pared lateral (llamada “kneewall” en Ingles debido a su baja altura), y por el techo, mientras que la convención se calcula para toda la estructura. La suma de estos valores proporciona nuestra estimación.

Ganancia de Calor Debida a la Radiación Solar

Para cada localidad citada en *Virtual Grower* existe una base de datos de radiación solar esperada la cual puede ser usada para encontrar una estimación de cuanto calor el invernadero puede recibir del sol. Para nuestra estimación, nosotros simplemente multiplicamos la cantidad de energía luminosa recibida por un pie cuadrado de superficie de suelo por la superficie total del invernadero. No toda la energía solar calentará al invernadero; la reflexión por las superficies del invernadero y la evapotranspiración disminuirán sustancialmente la cantidad de energía o calor producidos por sol.

Para compensar por ello, *Virtual Grower* asume que aproximadamente el 33% de la energía solar es reflejada por los materiales del invernadero y aproximadamente el 50% de la restante es usada para la evaporación de agua de la superficie de los sustratos y las plantas. Esto significa que solamente el 33% de la energía solar calienta el invernadero. Para estimar la ganancia de calor mediante la radiación solar, *Virtual Grower* multiplica dicha cantidad de energía luminosa que llega por pie cuadrado de superficie de suelo, 0.33 (la cantidad de luz que penetra el invernadero), y por el área que ocupa el invernadero.

Cambio Neto de Calor en el Invernadero y Costos de Calefacción

Usando los cálculos anteriores, *Virtual Grower* determina la cantidad neta de energía calórica entrando o saliendo el invernadero. Esto se hace simplemente sumando el calor total perdido por conducción y convección al calor ganado debido a la radiación solar. Si el resultado es negativo, por ejemplo cuando el invernadero se está enfriando, el numero de BTU perdidas se asume son las BTU añadidas al invernadero por sus calefactores para mantenerlo a su temperatura actual. Si el número es positivo, se asume que el invernadero está siendo enfriado de alguna manera y que no combustible está siendo quemado para calentar el invernadero.

Para calcular el costo de calentar al invernadero, el numero de BTU que se pierden son divididas por la cantidad de calor ganadas mediante el quemado de una unidad de combustible (cualquiera sea el combustible seleccionado), ajustadas por la dada eficiencia del calefactor. Esto nos da la cantidad de combustible que se necesita para mantener la temperatura del invernadero. Finalmente, el costo para calentar la estructura es calculado multiplicando las unidades de combustible quemadas por el costo por unidad especificada para dicho invernadero.

El uso de Cortinas Energéticas

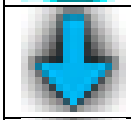
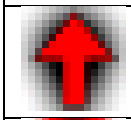
Cuando una Cortina energética está siendo usada en un invernadero, la cantidad de calor perdido por la estructura es calculada de una manera algo diferente. Consulte el Apéndice 2 para una explicación de cómo se hace dicho cálculo.

Apéndice 6: Factores de Corrección Usados en *Virtual Grower*

Factor de corrección	Condiciones	Valor
Velocidad del viento para la conducción y la convección	viento< 15 mph	1
	15 mph < viento < 20 mph	1.04
	20 mph < viento < 25 mph	1.08
	25 mph < viento < 30 mph	1.12
	30 < viento	1.16

Los valores fueron obtenidos de Bartok, J.W. Jr., 2005, floriculture fact sheet from U Mass Extension: http://www.umass.edu/umext/floriculture/fact_sheets/greenhouse_management/jb_fuels.htm

Apéndice 7: Advertencias Para el Crecimiento de la Planta

Símbolo	Significado
	La temperatura fijada está por debajo de la temperatura mínima o temperatura base para dicho cultivo y es muy probable que la planta se congelará o sufrirá irreparable daño por frio.
	La temperatura fijada es lo suficiente cálida para mantener el crecimiento pero el crecimiento y desarrollo serán más lentos de lo posible a que si la planta se hiciera crecer a temperaturas óptimas.
	La temperatura fijada es lo suficiente cálida para mantener el crecimiento pero el crecimiento y el desarrollo será retrasados o suprimidos debido a temperaturas demasiado elevadas.
	La temperatura fijada está por encima de la temperatura máxima para dicho cultivo y es muy probable que la planta muera debido a estrés calórico durante la producción.
	En el actual programa de calefacción, el cultivo crecerá pero no tendrá tiempo suficiente para alcanzar la floración o madurez. Extendiendo el programa de calefacción o extendiendo el tiempo de producción permitirá que el cultivo alcance la madurez.

Apéndice 8: Calculando el Desarrollo y Crecimiento de la Planta

El crecimiento y desarrollo del cultivo depende en gran medida de la luz y la temperatura. *Virtual Grower* permite un amplio control de la temperatura y se basa en una base de datos climatológicos para la luz. Para la tasa de desarrollo más rápida, muchos cultivos necesitan un fotoperiodo inductivo; sin dicho fotoperiodo, las plantas no florecerán o el desarrollo será significativamente menor, sin embargo puede continuar creciendo de manera vegetativa. Para simplificar, hemos asumido que el fotoperiodo requerido para un desarrollo apropiado (por ejemplo floración) para cada cultivo es el adecuado. Por lo tanto, para *Virtual Grower*, el desarrollo del cultivo dependerá solo de la temperatura media y los niveles de luz durante el cronograma del cultivo. Para el crecimiento, se usa un modelo de fotosíntesis de hoja única y se permite a la luz ser el impulsor del crecimiento. Sin embargo, en este modelo las hojas deben interceptar la luz para poder crecer. Por lo tanto, una estimación de expansión foliar debe preceder las estimaciones de fotosíntesis y el aumento de biomasa.
En la sección que sigue, se dan más detalles acerca de las suposiciones y cálculos usados en *Virtual Grower* para el crecimiento y el desarrollo. Al final de dicha sesión, se presentan muchas referencias que hemos considerado útiles en el caso que Usted desee interesarse con más detalle sobre modelos de crecimiento.

Luz

La unidad de luz utilizada por *Virtual Grower* es la Integral de Luz Diaria (DLI en Ingles), medida en moles de fotones por metro cuadrado por día. Es la luz total o integrada durante un día que la planta puede utilizar. La base de datos climáticos usados en este software reporta radiación total en su promedio horario, en Watts por metro cuadrado. Esta radiación es convertida en radiación fotosintéticamente activa (PAR en Ingles; con unidades de micro moles de fotones por metro cuadrado por segundo) dividiendo la radiación total por 0.47. Este resultado es convertido a moles de fotones por metro cuadrado por hora multiplicando por un factor de 3600 (segundos por hora) y dividiendo por un millón (numero de micro moles en un mol). Para un día determinado, los totales de cada hora son adicionados para dar el DLI. La luz agregada al invernadero por las lámparas de luz suplementaria es sumada a los cálculos de DLI, y por lo tanto influencia el crecimiento y desarrollo.

Temperatura

Virtual Grower usa promedios diarios de temperatura para determinar aspectos de crecimiento vegetal en vez de medidas instantáneas de temperatura, temperatura diurna o temperatura nocturna por separado. La temperatura diaria promedio se calcula usando un promedio compensado de temperaturas programadas (por el programa de calefacción del usuario) y tiempo, en horas, a cada temperatura.

Calculando Desarrollo (Tiempo a la Floración)

Cada especie de planta florífera usa el mismo modelo general para predecir el tiempo a la floración:

$1/\text{días a la floración} = y_0 + T_1*temp_{avg} + T_2*temp_{avg}^2 + Q_1*DLI + Q_2*DLI^2 + TQ*DLI*temp_{avg}$

Donde y_0 es la reciproca del número de días a la floración cuando la temperatura y la luz son iguales a cero, $temp_{avg}$ es la temperatura diaria promedio, T_1 es el parámetro linear para el efecto de la $temp_{avg}$ sobre el desarrollo, T_2 es el parámetro curvilíneo para el efecto $temp_{avg}$, Q_1 es el parámetro linear para el efecto de DLI sobre el desarrollo, Q_2 es el parámetro curvilíneo para el efecto de DLI sobre el desarrollo, y TQ es el parámetro que permite cualquier interacción entre el DLI y $temp_{avg}$.
Virtual Grower usa parámetros únicos, empíricamente derivados para ajustar la ecuación descripta arriba para predecir el desarrollo de cada uno de los siete cultivos florales modelados. La estructura de la ecuación arriba descripta permite que la luz y la temperatura actúen directamente de manera no linear y además permite interacciones entre la luz y la temperatura. En la mayoría de los casos uno o más de los parámetros son cero. Después de calcular los días a la floración, *Virtual Grower* redondea los números a la media semana más cercana. Las referencias científicas describiendo las ecuaciones utilizadas para cada especie son;

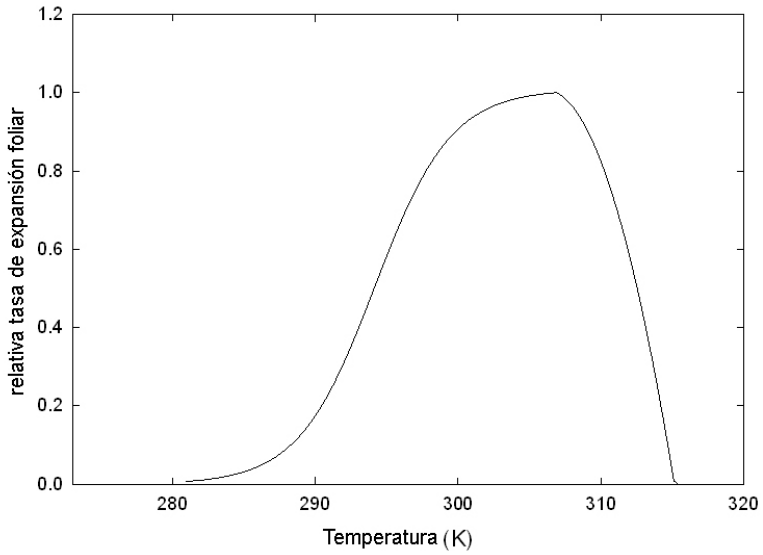
Adams, S.R., S. Pearson, and P. Hadlet. 1997. The effects of temperature, photoperiod, and light integral on the time to flowering of pansy cv. Universal Violet (*Viola* x *wittrockiana* Gams). Annals of Botany. 80:107-112.
Armitage, A.M., N.G. Seager, I.J. Warrington, D.H. Greer, and J. Reyngoud. 1990. Response of *Oxypetalum caeruleum* to irradiance, temperature, and photoperiod. J. Amer. Soc. Hort. Sci.
Blanchard, M. and E. Runkle. 2008 (on-going). Temperature and daily light integral effects on crop timing and quality of bedding plants. PhD dissertation, Michigan State University.
Erwin, J, R. Heins, R. Berghage, and B. Kovada., 1990. Temperature effects *Schlumbergera truncata* "madisto" flower initiation. Acta Hort. 272:97-101.
Faust, J.E. and R.D. Heins. 1994. Modeling inflorescence development of the African violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl.). J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119:727-734.
Frantz, J. M., Ritchie, G., Cometti, N. N., Robinson, J., and Bugbee, B. 2004. Exploring the limits of crop productivity: Beyond the limits of tipburn in lettuce. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129:331-338.
Karlsson, M.G., R.D. Heins, J.E. Erwin, and R.D. Berghage. 1989. Development rate during four phases of chrysanthemum growth as determined by preceding and prevailing temperatures. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114:234-240.
Moccaldi, L.A. and E.S. Runkle. 2007. Modeling the effects of temperature and photosynthetic daily light integral on growth and flowering of *Salvia splendens* and *Tagetes patula*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 132:283-288.
Moe, R. 1983. Temperature and daylength responses in *dianthus carthusianorum* cv. Napolean III. Acta Hort. 141:165-171.
Pietsch, G.M., W.H. Carlson, R.D. Heins, and J.E. Faust. 1995. The effect of day and night temperature and irradiance on development of *Catharanthus roseus* (L.) 'Grape Cooler'. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120:877-881.

Pramuk, L.A. and E.S. Runkle. 2005. Modeling growth and development of celosia and impatiens in response to temperature and photosynthetic daily light integral. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 130:813-818.

Estamos actualmente trabajando para agregar mas especies a futuras versiones de *Virtual Grower*.
En el medio ambiente de un invernadero típico, la integral diaria de luz (DLI) cambia de forma diaria, pero las ecuaciones derivadas de forma empírica están basadas en DLI mantenidas de forma constante en laboratorio. *Virtual Grower* utiliza el DLI promedio mensual de la localidad a simular en vez de una DLI variable.

Cálculo del Crecimiento
Expansión foliar
Antes que una planta pueda fotosintetizar y utilizar la luz disponible, dicha luz debe ser interceptada por una hoja. Por lo tanto, se debe considerar la expansión foliar. Para simplificar el modelo se asume que la expansión foliar es independiente de la especie. Sin embargo, la misma es sensible a la temperatura diaria promedio, a su vez, la temperatura óptima para dicha expansión foliar es especie dependiente, y cuando posible, basada en un límite inferior de temperatura. Si un límite inferior de temperatura no fue encontrado, información proporcionada por cultivadores fue utilizada para guiarnos hacia una aproximación de la baja temperatura límite de las distintas especies.
Las temperaturas óptimas (T_{opt}) son por lo tanto 50 °F más elevadas que la temperatura base. La expansión foliar se detiene a elevada temperatura y la misma se define como 12 °F por encima de la temperatura óptima. De ser posible, cada especie tiene una T_{opt} documentada la cual está basada en un límite de crecimiento vegetal mínimo para dicha especie. En ausencia de dicho valor, se utilizó información proporcionada por cultivadores para guiarnos hacia una aproximación del límite más bajo de temperatura para dichas especies.

La tasa de expansión foliar tiene dos ecuaciones. Una ecuación es usada para la temperatura desde el límite mínimo hasta la temperatura óptima y la otra se usa desde la temperatura optima hasta la temperatura crítica superior a la cual la expansión se detiene. Juntas, estas curvas resultan en la siguiente respuesta a la temperatura:



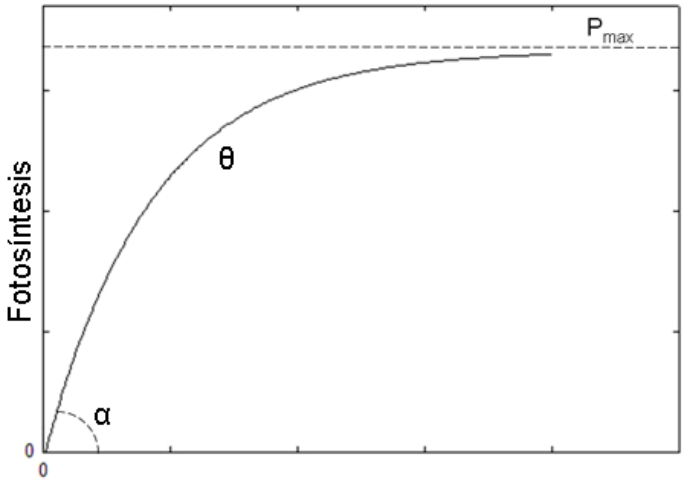
La temperatura óptima efectiva (temperatura que produce la tasa de expansión foliar más alta) depende de la especie.

Fotosíntesis

Muchos excelentes modelos han sido publicados que predicen de forma exacta la fotosíntesis de una única hoja, la planta entera, o a nivel de copa de cultivos. Algunos de estos modelos has sido modificados para tener en cuenta diferencias debidas a la especie, disponibilidad de agua, humedad, concentración de CO_2, luz, nutrición, y senda fotosintética, para nombrar algunas de las variantes.

El objetivo de este componente de *Virtual Grower* es el de informar al usuario del tamaño de la planta en las dadas condiciones ambientales de manejo. El tamaño exacto de la planta variará en base a las muchas condiciones ambientales indicadas anteriormente (nutrición, disponibilidad de agua, etc.) así como el tamaño inicial del material vegetal y el tamaño del recipiente. Utilice la predicción del tamaño de la planta como información de cuán grande o pequeña la planta es en relación a otros escenarios de simulación de *Virtual Grower* para ver el impacto sobre el desempeño general de la planta.

El modelo aquí utilizado se basa en uno comúnmente denomina “capa de hoja única”. Seleccionado por su simplicidad, el modelo permite obtener respuestas al CO_2, a la temperatura, y a la luz, variables todas manipuladas en la producción en invernadero mientras que fertilidad y disponibilidad de agua son comúnmente asumidas en estado óptimo, mientras que la ruta fotosintética para la mayoría de los cultivos de invernadero pertenecen al grupo C3. Las respuestas fotosintéticas a la luz a menudo se ven de la siguiente manera:



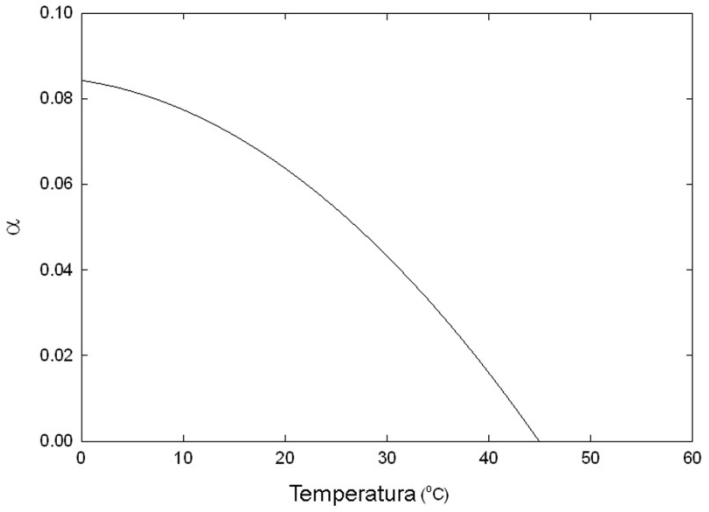
La pendiente inicial de la curva (α) depende (entre otras cosas) de la concentración de CO_2; el "codo" de la curva (θ) depende del ángulo de la hoja, y el límite superior de la curva (P_{max}) depende de variables como la luz y el CO_2. Para una discusión más detallada del modelaje de la fotosíntesis, se puede consultar las referencias que se encuentran al final de este apéndice.
La ecuación del modelo es:

$$\text{Tasa fotosintética} = ½ \cdot \theta \{\alpha \cdot luz_{instant} + P_{max} – [(\alpha \cdot luz_{instant} + P_{max})^2 – 4 \cdot \theta \cdot \alpha \cdot luz_{instant} \cdot P_{max}]^{1/2} \}$$

Donde (α) es el rendimiento cuántico (o eficiencia fotosintética), $luz_{instant}$ es la luz instantánea dentro del invernadero en un tiempo determinado, y P_{max} es la tasa fotosintética máxima teóricamente posible.
Para simplificar, hemos hecho algunas suposiciones. θ se establece como 0.8, valor utilizado a menudo para plantas comunes, P_{max} es fijada en 100, y α llega a su máximo de 0.084 moles de C fijado por mol de fotones absorbidos (este valor puede ser controversial, pero hemos elegido para este modelo un valor conservador de eficiencia máxima; ver las referencias para más información sobre este valor).
α and P_{max} responden a la temperatura y al CO_2. Ambos son modelados usando las ecuaciones siguientes:
α y temperatura

$$\alpha = 0.0843 – (0.0003 \cdot \text{temperatura actual}) – (0.0000341 * \text{temperatura actual}^2)$$

Resultando en la siguiente curva de respuesta a la temperatura:



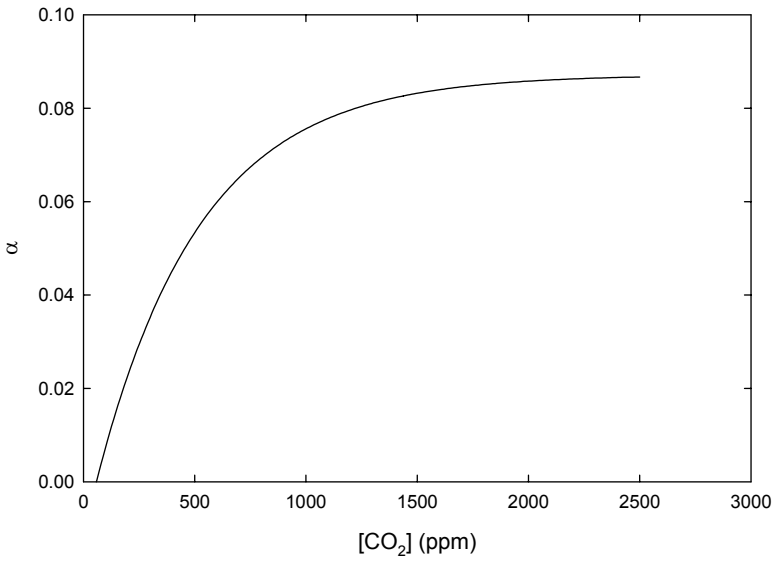
Esta respuesta está basada en Long, (1991), ajustada hacia abajo de tal forma que el α máximo es 0.0843 moles de carbón fijado por cada mol de fotones absorbidos.

α y CO_2

α responde fuertemente a la concentración de CO_2 en el aire. La concentración de CO_2 atmosférico actual es de aproximadamente 400 ppm, pero la fotosíntesis óptima para la mayoría de cultivos de invernadero ocurre a concentraciones de CO_2 de 1000 a 1200 ppm. Concentraciones de CO_2 muy altas (~10.000 ppm) inhiben la fotosíntesis, pero estas concentraciones ocurren muy raramente en invernaderos. La ecuación que *Virtual Grower* utiliza para describir la eficiencia α mejorada es:

$$\alpha = -0.0116 + 0.987 \cdot (1 - e^{(-0.0021*[CO2])})$$

Resultando en la siguiente curva de respuesta al CO_2:

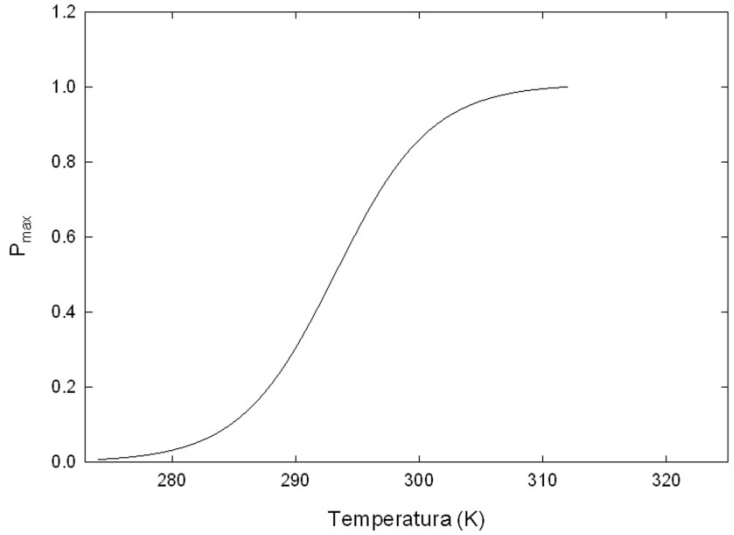


P_{max} y la temperatura

La tasa máxima de fotosíntesis depende de la temperatura y el CO_2 y es ajustada hacia arriba o hacia abajo en forma relativa a su valor máximo (para este modelo) de 100 mediante las siguientes ecuaciones:

$P_{max} = 51.42 / \{1 + e^{[-\text{temperatura absoluta} - (Tbase+17)]/4.92}\}$

Resultando en la siguiente curva de respuesta a la temperatura:



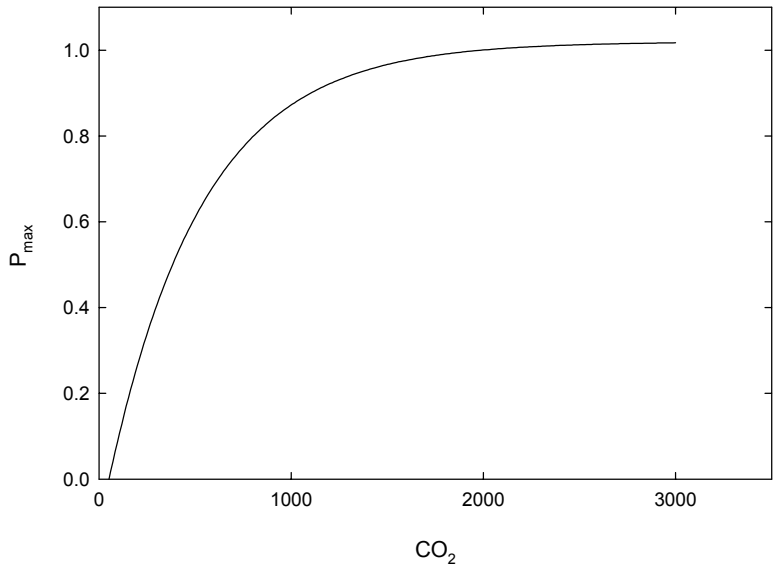
Nótese que en esta ecuación, P_{max} no disminuye a temperaturas supra-optimas. El análisis de sensibilidad de esta suposición simplificada resultó en cambios muy pequeños en el crecimiento total debido a la declinación del parámetro alfa a temperaturas elevadas y a la menor expansión foliar a dichas temperaturas.

P_{max} y CO_2

La siguiente ecuación es usada para predecir como P_{max} es influenciada por el CO_2:

$P_{max} = -0.116 + 1.136 * (1 - e^{-0.002 * [CO2]})$

Resultando en la siguiente curva de respuesta al CO_2



El tamaño final de la planta es calculado a partir de la sumatoria de las predichas tasas de fotosíntesis para la predicha área foliar expuesta a la luz ambiente durante cada hora del intervalo preestablecido.

Referencias útiles para el modelado de fotosíntesis

Albrizno R, Steduto P. 2003. Photosynthesis, respiration and conservative carbon use efficiency of four field grown crops. Agr. For. Meteor. 116: 19-36.
Alexander, J. D., Donnelly J. R., Shane J. B. 1995. Photosynthetic and transpirational responses of red spruce understory trees to light and temperature. Tree Physiol. 15: 393-398.
Amthor JS. 1989. Respiration and Crop Productivity. Springer-Verlag. New York.
Amthor J. S. 2000. The McCree-de Wit-Penning de Vries-Thornley respiration paradigms: 30 years later. Annals Bot. 86: 1-20.
Amthor JS, Koch GW, Williams JR, Layzell DB. 2001. Leaf O_2 uptake in the dark is independent of coincident CO_2 partial pressure. J. Exp. Bot. 52: 2235-2238.
Atkin OK, Evans JR, Ball MC, Lambers H, Pons TL. 2000. Leaf respiration of snow gum in the light and dark. Interactions between temperature and irradiance. Plant Physiol. 122: 915-923.
Ayari O, Dorais M, Gosselin A. 2000. Daily variations of photosynthetic efficiency of greenhouse tomato plants during winter and spring. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 125: 235-241.
Azcón-Bieto J, Lambers H, Day DD. 1983. Effect of photosynthesis and carbohydrate status on respiratory rates and the involvement of the alternative pathway in leaf respiration. Plant Physiol. 72: 598-603.

Azcón-Bieto J, Osmond CB. 1983. Relationship between photosynthesis and respiration. The effect of carbohydrate status on the rate of CO_2 production by respiration in darkened and illuminated wheat leaves. Plant Physiol. 71: 574-581.
Björkman O. 1981. Responses to different quantum flux densities: Plants, light and its effects on photosynthesis. Encyclopedia Plant Physiol. New Series 12: 57-107.
Bugbee B. 1994. Effects of radiation quality, intensity, and duration on photosynthesis and growth. International Lighting on Controlled Environments Workshop. NASA-CP-95-3309.
Cannell M. G. R., Thornley J. H. M. 2000. Modelling the components of plant respiration: Some guiding principles. Ann. Bot. 85: 45-54.
Griffin K. L., Turnbull M., Murthy R., Lin G., Adams J., Farnsworth B., Mahato T., Bazin G., Potasnak M., Berry J. A. 2002. Leaf respiration is differentially affected by leaf vs. stand-level night-time warming. Global Change Biol. 8: 479-485.
Farquhar, G.D., S. von Caemmerer, and J.A. Berry. 1980. A biochemical model of photosynthetic assimilation in leaves of C3 species. Planta 149:78-90.
Funnell KA, Hewett EW, Plummer JA, Warrington IJ. 2002. Acclimation of photosynthetic activity of Zandeschia 'Best Gold' in response to temperature and photosynthetic photon flux. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 127: 290-296.
Hammer PA, Tibbitts TW, Langhans RW, McFralane JC. 1978. Base-line growth studies of 'Grand Rapids' lettuce in controlled environments. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103: 649-655.
Hansen LD, Criddle RS, Smith BN, MacFarlane C. 2002. Growth-maintenance component models are an inaccurate representation of plant respiration. Crop Sci. 42: 659.
Jordan, D.B. and W. L. Ogren. 1984. The CO_2/O_2 specificity of ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase. Planta 161:308-313.
Lal A, Edwards GE. 1995. Maximum quantum yields of O_2 evolution in C4 plants under high CO_2. Plant Cell Physiol. 36: 1311-1317.
Lambers H, Chapin FS III, and Pons TL. 1998. Plant Physiological Ecology. Springer-Verlag. New York.
Long, S.P. 1991. Modification of the response of photosynthetic productivity to rising temperature by atmospheric CO_2 concentrations: Has its importance been underestimated? Plant Cell Environ. 14:729-739.
McCree KJ. 1974. Equations for the rate of dark respiration of white clover and grain sorghum, as a function of dry weight, photosynthetic rate, and temperature. Crop Sci. 14: 509-514.
McCree KJ. 1982. Maintenance requirements of white clover at high and low growth rates. Crop Sci. 22: 345–351.
Monje O, Bugbee B. 1996. Characterizing photosynthesis and transpiration of plant communities in controlled environments. Acta Hort. 440: 123-128.
Monje O., Bugbee B. 1998. Adaptation to high CO_2 concentration in an optimal environment: radiation capture, canopy quantum yield, and carbon use efficiency. Plant Cell Environ. 21: 315-324.
Monteith, JL. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B 281:277−294.

Nemali KS, van Iersel MW. 2004. Light effects on wax begonia: photosynthesis, growth respiration, maintenance respiration, and carbon use efficiency. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129: 416-424.
Norman JM, Arkebauer TJ. 1991. Predicting canopy photosynthesis and light-use efficiency from leaf characteristics. In: Modeling crop photosynthesis-from biochemistry to canopy. CSSA Special Publication 19: 75-94.
Raulier F, Bernier PY, Ung C. 1999. Canopy photosynthesis of sugar maple (*Acer saccarum*): comparing big-leaf and multilayer extrapolations of leaf-level measurements. Tree Physiol. 19: 407-420.
Sanchez CA, Allen RJ, Schaffer B. 1989. Growth and yield of crisphead lettuce under various shade conditions. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114: 884-890.
Sharp RE, Matthews MA, Boyer JS. 1984. Kok effect and the quantum yield of photosynthesis. Light partially inhibits dark respiration. Plant Physiol. 75: 95-101.
Thornley J. H. M., Cannell M. G. R. 2000. Modelling the components of plant respiration: Representation and Realism. Ann. Bot. 85: 55-67.Thornley JHM, Johnson IR. 1990. Whole plant respiration and growth energetics. In Plant and Crop Modeling. pp. 264-285. Clarendon Press, Oxford.
Will RE, Barron GA, Burkes EC, Shiver B, Teskey RO. 2001. Relationship between intercepted radiation, net photosynthesis, respiration, and rate of stem volume growth of *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* stands of different densities. For. Ecol. Man. 154: 155-163.

Apéndice 9: Estimando la eficiencia del sistema de calefacción

Como se mencionó en el manual general, la estimación de la eficiencia de los sistemas de calefacción usa descripciones generales de unas pocas características clave de la mayoría de los sistemas para afinar una eficiencia general del sistema. La sección sobre la eficiencia del sistema de calefacción se basa en una matriz de valores medidos y publicados sobre partes similares de sistemas que colegas ingenieros han medido y documentado "a campo". *Virtual Grower* usa cuatro componentes cada uno con una eficiencia teórica de 0 a 100%. En la práctica algunos de los componentes tienen un rango mucho más limitado (por ejemplo, mantenimiento varía entre 90 y 100%). A medida que el usuario selecciona los componentes y descripciones que son similares a su propio sistema, las eficiencias individuales son multiplicadas entre si para producir una eficiencia general del sistema.

Por ejemplo, al seleccionar un determinado calefactor conocido en Inglés como "unit heater", la matriz de eficiencia comienza con un cierto número, por ejemplo 85% (un valor que es comúnmente presentado por el mismo calefactor en su manual y puede por lo tanto ser entrado directamente por el usuario como un valor que anula al preseleccionado). Los calefactores de ventilación forzada son más eficientes que los de ventilación gravitacional, por lo cual, dicho componente podría tener una eficiencia del 90%. Hay que notar, que estos dos sistemas incorporan en cierta medida eficiencias de combustión. Seleccionando un sistema de distribución del calor por encima de las mesadas ("overbench heating") sin un tubo de distribución, podría tener una eficiencia del 60%. Finalmente, mantenimiento y edad también deben ser considerados, y si el calefactor es bastante nuevo (3 a 5 años) y ha sido mantenido razonablemente bien, la "eficiencia de mantenimiento" puede ser cercana a 95%. En el dado ejemplo, la eficiencia del sistema es 43.6% (85% x 90% x 60% x 95%).

Cuando inicialmente desarrollamos la matriz, la calibramos con eficiencias medidas en varios invernaderos utilizando muchos de los sistemas de calefacción disponibles. Como consecuencia, encontramos que las eficiencias reales para los sistemas de calefacción unitarios eran de solo 50%. Uno de los objetivos de esta matriz es el de permitir al usuario ver el impacto que cada elección tiene sobre la eficiencia del sistema en general.

Es importante notar que esta matriz debe ser tratada únicamente como una estimación general y no debe remplazar el que un ingeniero capacitado evalúe al detalle su sistema. Con el conocimiento que no sabemos algunos de estos números, hacemos dos cosas: 1) permitimos que el usuario ignore y remplace nuestro valor y 2) limitamos las eficiencias de ventilación y mantenimiento entre 90 y 100% de tal manera que las mismas no penalicen demasiado al sistema en general.

Apéndice 10: Cálculo del costo de iluminación

Los costos por día que se calculan para un invernadero utilizando iluminación suplementaria están basados en el número de lámparas, los watts de las mismas, watts de las reactancias o balastros, horas diarias de uso, y el costo de la electricidad de la siguiente manera:

de lámparas * (watts de lámparas y reactancias) * horas * costo de la electricidad

Recuerde que debe convertir los watts de la lámpara a kW pues los costos de electricidad muy probablemente estén dados en kW-h. Por ejemplo, en un invernadero que posee 20 lámparas de 400 watts funcionando con reactancias/balastros de 64 watts durante 6 horas con un costo de electricidad de $0.13 por kW-h, el costo diario seria:

20 lámparas * [(400 W + 64 W)/1000] * 6-h * $0.13 kW-h = $7.24

Este cálculo está basado en el ejemplo dado por:
Fisher, P. and A.J. Both. 2004. Supplemental lighting technology and costs. From Lighting Up Profits, Edited by P. Fisher and E. Runkle. Meister Media Worldwide, Willoughby, OH.
En *Virtual Grower*, cada uno de estos parámetros puede ser fijado, y las horas que las lámparas están activadas puede variar dependiendo del tiempo (clima) y ajuste de la posición de umbrales de encendido.

El tipo de lámpara que se elige es importante cuando las unidades de iluminación deben ser cambiadas, en el uso de iluminación al nivel de planta para calcular la integral diaria de luz (DLI) en las secciones donde se calcula el crecimiento y desarrollo de la planta. Las conversiones que *Virtual Grower* utiliza están resumidas en la tabla debajo:

Unidad	Alta Presión de Sodio	"Metal Halide"	Fluorescente Blanco-Frio	Incandescente
Candelas pie	1	1	1	1
lux	10.76	10.76	10.76	10.76
µmol m^{-2} s^{-1}	0.13	0.15	0.15	0.22
W m^{-2}	0.026	0.033	0.032	0.043

Esta tabla es una adaptación de la versión presentada en:
Fisher, P. and E. Runkle. 2004. Managing lighting in the greenhouse – why is it important? From Lighting Up Profits, Edited by P. Fisher and E. Runkle. Meister Media Worldwide, Willoughby, OH.