

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS  
FUNDACITE-MERIDA  
CONVERTIDORA PAPELEX

PROCESOS FÍSICOS Y SU EFECTO EN LA TEMPERATURA  
DEL AIRE INTERIOR DE UN INVERNADERO

Leyde Briceño  
Ramón E. Jaimez

Serie: Cultivos en Invernaderos N° 2

### Bibliografía

Briceño, L. Informe: Elemento finito, simulación del proceso térmico simplificado de un invernadero. 2005. Análisis numérico II. Postgrado Matemática Aplicada a la Ingeniería. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Briceño, L. Modelo de simulación del microclima de un invernadero. 2008. Tesis de la Maestría Matemática Aplicada a la Ingeniería. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

En el caso específico de un invernadero cerrado, ubicado en Santa Rosa, Mérida, utilizado como semillero o propagador y cuyo perfil de temperatura se muestra en la Fig. 5, se aplicaron varias medidas para disminuir las altas temperaturas; se instalaron dos extractores eléctricos (encendidos de 9 am a 4 pm) y se aplicaron ocho riegos programados entre las 9 am y las 4 pm, con una duración de 1 min cada uno. Estas eran las condiciones requeridas para la etapa de crecimiento de las plántulas que se encontraban en el invernadero. Las mediciones de la temperatura del aire interior se presentan en la Fig. 15

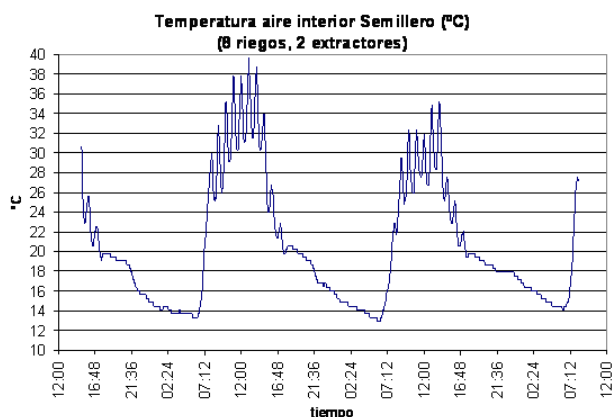


Fig. 15 Perfil de temperatura (°C) en el aire interior con el uso de extractores eléctricos y riego

Con la aplicación de los riegos y el uso de los extractores, durante periodos de mayor radiación solar, se observó una disminución de la temperatura de hasta 10 °C (en comparación con el perfil de la Fig. 5) para los periodos de alta radiación solar. Las irregularidades que se aprecian en la Fig. 15 se deben al efecto del riego, observándose que la temperatura baja durante el riego, pero en un periodo máximo de 5 minutos se eleva nuevamente.

Los procesos descritos reflejan el impacto de la ventilación en la disminución de la temperatura del aire interior de un invernadero. Si bien cada invernadero es un caso específico y son diversos los aspectos que influyen en el microclima, el manejo adecuado de la ventilación resulta crucial para el control de temperatura y/o humedad, siendo esta la primera acción que se recomienda tomar en consideración.

## Editorial

En esta segunda edición de la serie Cultivos en Invernaderos se describen dos procesos: la radiación solar y la ventilación, así como su relación con el microclima de los invernaderos, con esto se pretende que los productores conozcan la manera como estos fenómenos afectan el microclima de estas casas de cultivo y lo empleen para mejorar su manejo.

Leyde Briceño

## Procesos Físicos

### Radiación solar

La radiación solar es la fuente principal de energía en el microclima de un invernadero, y esta directamente relacionada con el proceso de fotosíntesis que regula el crecimiento y la producción de las plantas.

La radiación recibida por unidad de área de una superficie se denomina irradiancia y se mide en vatios por m<sup>2</sup> (W/m<sup>2</sup>). La radiación solar puede dividirse en radiación de onda corta y radiación de onda larga con la distribución que se muestra en la Fig. 1. En la radiación de onda corta se encuentra la radiación fotosintéticamente activa, cuyas iniciales son RFA (o en inglés PAR). En la radiación de onda larga se encuentra la radiación infrarroja que cuando incide sobre una superficie, la calienta.

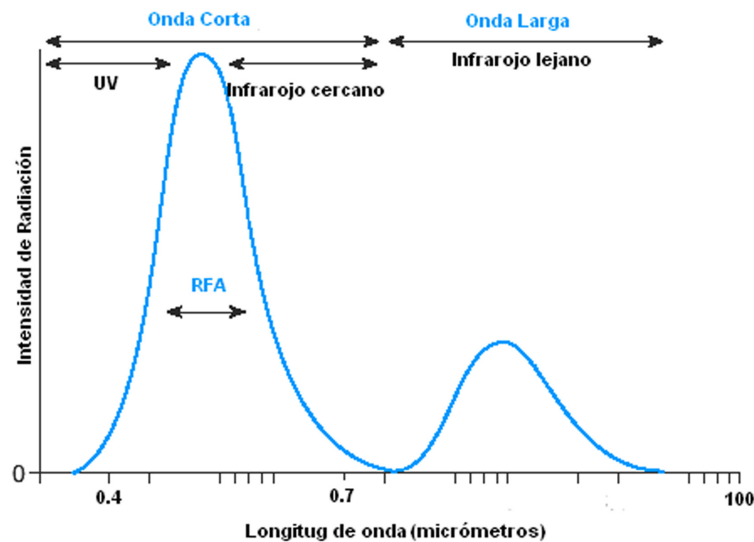


Fig. 1 Distribución espectral de la radiación solar en su longitud de onda corta y longitud de onda larga

<sup>1</sup>Radiación solar conjunto de rayos de varias longitudes de onda que llegan a la tierra a partir del sol y que se perciben en forma de luz y calor.

<sup>2</sup>Fotosíntesis proceso mediante el cual las plantas capturan la radiación fotosintéticamente activa para sintetizar compuestos orgánicos a partir de anhídrido carbónico y agua en asociación con clorofila.

<sup>3</sup>Radiación fotosintéticamente activa es la radiación que será utilizada para el proceso de fotosíntesis.

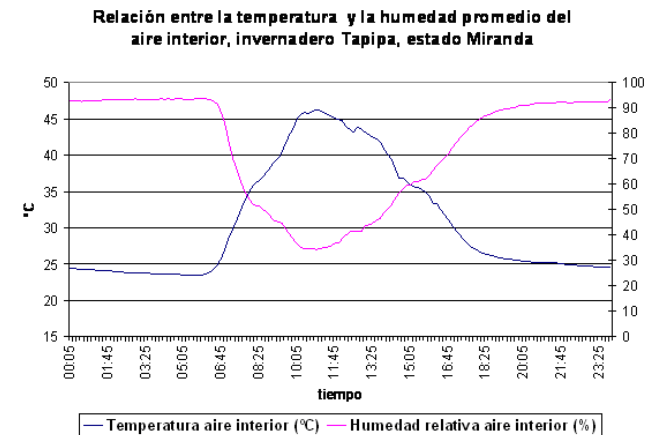


Fig. 12 Perfil de temperatura y humedad relativa en el aire interior (°C) medidas 4 m de altura, durante el periodo del 27/09 al 05/10/2008

### Ventilación Forzada

En este caso se utilizan extractores bien sea el sistema moderno de ventilación eólica (Fig. 13) o el tradicional sistema de extracción eléctrica (Fig. 14) para forzar la salida de aire caliente y/o humedad del interior del invernadero. La selección del extractor y el número de extractores requeridos, depende del número de veces que es necesario remover el volumen del aire interior.



Fig. 13 Extractor eólico imagen de VentDepot



Fig. 14 Extractor eléctrico, imagen de Fredive

Existen equipos para medir la radiación global (onda corta + onda larga) o solamente la radiación fotosintéticamente activa. En la Fig. 2 se muestra un sensor de RFA y la estación de soporte y registro. La RFA constituye aproximadamente el 50% de la radiación global.

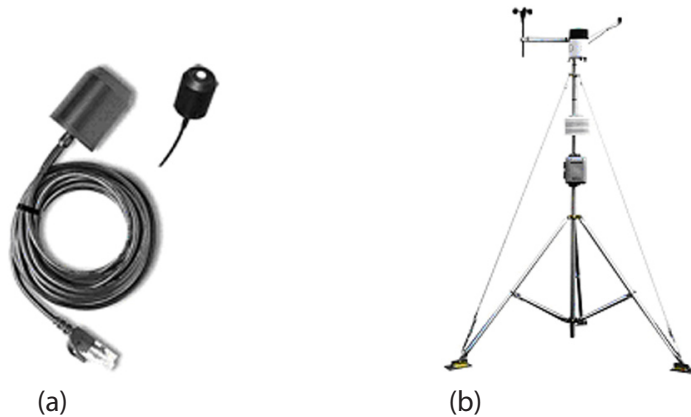


Fig. 2 (a) Sensor de radiación fotosintéticamente activa y (b) estación micro climática HOBO. Ambos equipos son fabricados por la empresa ONSET.

De la radiación solar que llega a la cubierta transparente del invernadero, una parte es reflejada, otra es absorbida por la cubierta (calienta la superficie) y la restante es transmitida al interior del invernadero (incide sobre el cultivo y calienta las diferentes superficies en el interior del invernadero), como se muestra en la Fig. 3.

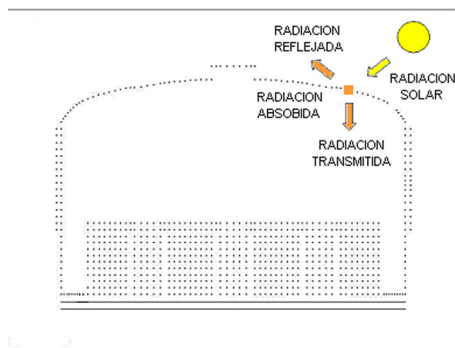


Fig. 3. Componentes de la radiación que incide sobre la cubierta de un invernadero

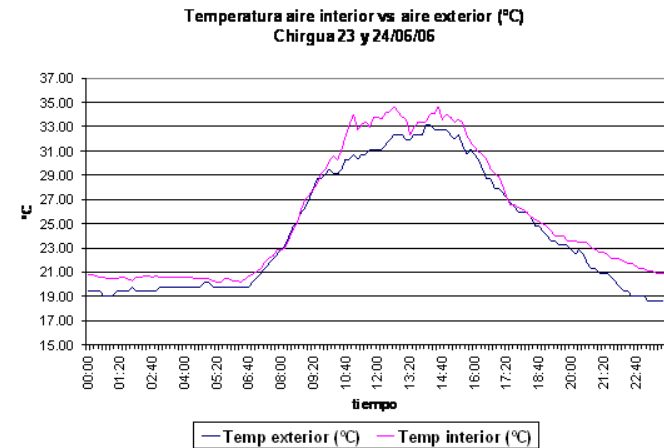


Fig. 11 Perfil de temperaturas interior y exterior de un invernadero ubicado en Chirgua, ventana cenital cerrada y ventanas laterales cubiertas con malla antiáfido durante las mediciones, durante el periodo del 23/06 y 24/06/2007

Si la ubicación del invernadero aprovecha la dirección del viento predominante en las ventanas laterales en las horas de mayor radiación, se puede aprovechar un flujo de ventilación adecuado con la apertura de las ventanas para mantener la temperatura entre los límites esperados. En caso contrario si la ubicación o las condiciones ambientales externas no son las apropiadas y el microclima del invernadero presenta problemas de temperatura y/o humedad altas, es recomendable la utilización de la ventilación forzada o de otros métodos para controlar las condiciones microclimáticas.

Es importante señalar que la relación entre la temperatura y la humedad son inversamente proporcionales, es decir mientras la temperatura sea alta, la humedad será baja; siendo válido también para el caso contrario, si la temperatura es baja, la humedad será alta. En la Fig. 12 se muestra esta relación, en función de las mediciones realizadas para un invernadero ubicado en Tapipa, estado Miranda

La fracción de radiación solar transmitida al interior del invernadero se denomina transmisividad y es una propiedad que depende del polietileno o material de la cubierta.

Es importante procurar que el material de cubierta transmita la máxima cantidad de radiación al interior del invernadero, con el fin de captar la mayor cantidad la radiación fotosintéticamente activa, por lo resulta conveniente que se mantenga libre de polvo.

Otro aspecto importante a tomar en consideración, al momento de instalar un invernadero, es la orientación (en función del frente del invernadero), ya que de acuerdo al tipo de estructura y la latitud del lugar, la captación de la radiación solar directa puede ser más eficiente en una dirección que en otras.

En la Fig. 4 se presenta un ejemplo donde se ha calculado teóricamente (Briceño, 2008) la captación de la energía incidente en la cubierta de un invernadero de techo curvo, con dimensiones de 9 m ancho, 18 m de largo y altura máxima de 6 m, en un lugar cuya latitud es 8° 37' Norte. Estos cálculos se realizaron para el primer equinoccio, día 20 de Marzo de un año cualquiera

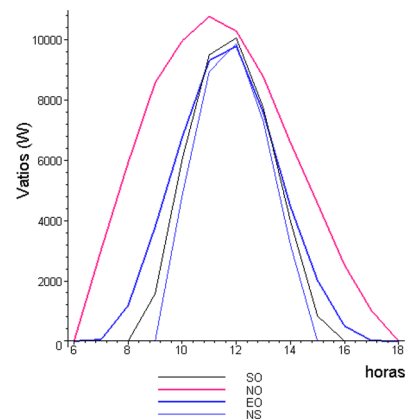


Fig. 4. Energía incidente sobre la superficie de la cubierta de un invernadero para diferentes orientaciones, para el primer equinoccio (20 de marzo) de un año cualquiera

\*Latitud permite conocer la ubicación de un lugar en el globo terrestre, respecto al Ecuador. Se mide en grados (°) y va de 0° en el Ecuador a 90° en el Polo Norte y -90° en el Polo Sur.

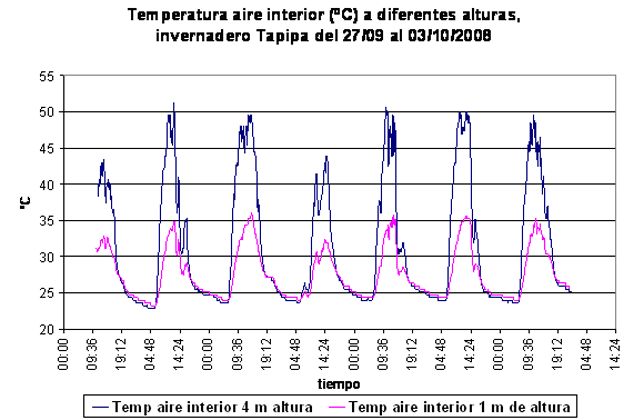


Fig. 9 Perfil de temperaturas del aire interior (°C) medidas a 1 m y 4 m de altura respectivamente, durante el periodo del 27/09 al 03/10/2008. Invernadero ubicado en Tapipa - Edo Miranda

En las Fig. 10 y 11 se pueden comparar las variaciones de temperatura del aire interior y exterior de dos invernaderos, uno ubicado en La Toma, Mucuchies, Estado Mérida a una altura de 3032 m.s.n.m y otro en Chirgua (Fig. 11), Estado Carabobo a una altura de 700 m.s.n.m. El primero tiene la ventana cenital abierta y el segundo la tiene cerrada.

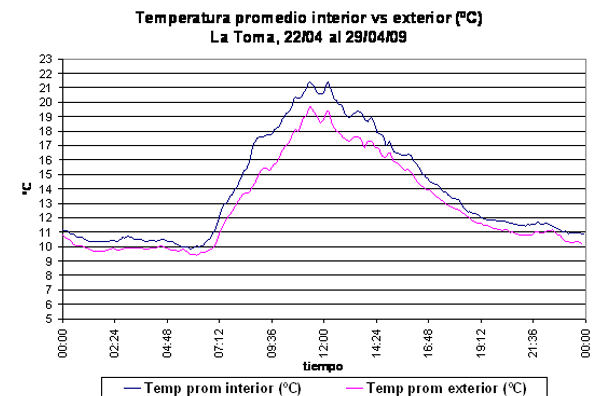


Fig. 10 Perfil de temperaturas interior y exterior de un invernadero ubicado en La Toma, ventana cenital abierta y ventanas laterales cubiertas con malla antiáfido durante las mediciones, durante el periodo del 22/04 al 29/04/2008



De la Fig. 6 se infiere que:

- Horizontalmente, la temperatura del aire en el centro del invernadero es mayor que en los laterales, debido al flujo de ventilación que entra por las ventanas. El flujo va disminuyendo a medida que encuentra obstáculos a su paso.
- Verticalmente, la temperatura del aire en la parte inferior del invernadero es menor que la temperatura del aire en la parte superior, debido a que el aire caliente tiene menor densidad y por eso sube hacia el techo del invernadero.

La distribución vertical de temperatura del aire sugiere la importancia de que se coloque una ventana cenital, de manera que la diferencia de densidades ayude a impulsar la salida de aire caliente por la parte superior (Fig. 8), mejorando la circulación y reduciendo la temperatura en el aire interior del invernadero.

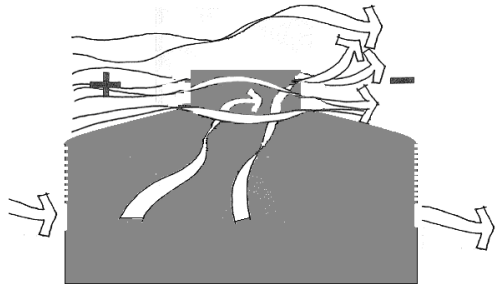


Fig. 8 Ventilación cenital en un invernadero que emplea solo ventilación natural

En la Fig. 9, se presenta un registro de la variación de las temperaturas del aire interior, en un invernadero con malla en las ventanas laterales, ubicado en Tapipa, Estado Miranda. Las mediciones corresponden a 1 m y 4 m de altura. Se observa que la temperatura del aire interior a 1 m de altura oscila alrededor de 35 °C para horas de mayor radiación, mientras que a 4 m de altura oscila alrededor de 47 °C, lo cual corroboraría los resultados de la simulación con Ansys (Fig. 6)

En la gráfica anterior se puede observar que la captación de radiación solar (en vatios, W) para el área total del invernadero, es mayor y más uniforme a lo largo del día con la orientación Nor-Oeste (NO). Es importante realizar este estudio para definir la orientación más apropiada para instalar un invernadero en una zona determinada.

Después que la radiación solar es transmitida al interior del invernadero, la fracción de la radiación que no es fotosintéticamente activa, se encarga de calentar las diferentes superficies y éstas a su vez emiten radiación de onda larga o térmica. Este intercambio de energía entre las superficies aumenta sus temperaturas propias y mientras no se intervenga en este proceso continuarán incrementándose, reemitiendo radiación de onda larga y simultáneamente estarán calentando el aire por convección natural (sin movimiento o renovación del aire interno).

La descripción anterior se aprecia muy claramente en la variación de temperatura del aire interior de un invernadero completamente cerrado, ubicado en la ciudad de Mérida (Venezuela) a una altura de 1930 m.s.n.m cuyas dimensiones son: 5 m ancho, 10 m largo y 5 m alto. En la Fig. 5 se muestra la variación horaria de la temperatura del aire exterior con relación a la variación de la temperatura del ambiente exterior.

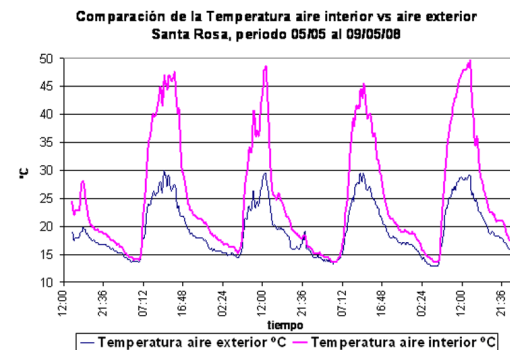


Fig. 5 Perfil de temperaturas interior y exterior de un invernadero completamente cerrado, ubicado en Santa Rosa, durante el periodo del 05/05 al 09/05/2008

<sup>3</sup>Densidad propiedad que permite medir que tan ligera o pesada es una sustancia, se expresa en Kg/m<sup>3</sup>

<sup>3</sup>Orientación es la forma de ubicarnos en el espacio, de acuerdo a los puntos cardinales de referencia (Norte, Sur, Este, Oeste). En el caso de un invernadero se mide el ángulo entre el frente del invernadero y el punto cardinal.

Puede apreciarse que en este caso, el calor ganado por la radiación solar incrementa la temperatura interior, principalmente en horas de mayor radiación solar, con diferencias de hasta 20 °C sobre la temperatura del aire exterior. Esto puede deberse a que se trata de un invernadero con un volumen de aire muy pequeño, completamente cerrado.

Una forma de intervenir en el proceso de incremento de temperaturas (reduciéndolo a niveles más bajos) es a través de la ventilación (renovación con aire exterior).

### Ventilación

La ventilación en un invernadero consiste en la renovación de la masa de aire interior a través de la introducción de otra masa de aire más fría procedente del exterior. Así puede evacuarse gran parte de la sobrecarga de calor disminuyendo la temperatura, la humedad y la concentración de dióxido de carbono en el interior.

La ventilación se mide en función del flujo de ventilación ( $m^3/s$ ) que entra al invernadero y la tasa de renovación por hora del volumen del aire dentro del invernadero. La ventilación de un invernadero puede hacerse de forma natural o forzada.

### Ventilación natural

En este caso se aprovecha la velocidad y dirección del viento exterior para mejorar el flujo de ventilación del invernadero, sin el uso de ningún medio mecánico o eléctrico sólo con la apertura de las ventanas (lateral y cenital). En la Fig. 6 se muestra a manera didáctica una gráfica que se obtuvo por simulación en Ansys (Briceño, 2005) para un invernadero ubicado en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Fig. 7), para un instante de tiempo determinado, suponiendo que el viento exterior choca por el frente del invernadero, lo que podría originar entrada de viento por ambas ventanas laterales. Si una fotografía fuera tomada justo antes de abrir la ventana cenital, para permitir la salida del aire en el interior del invernadero, se obtendría la Fig. 6

Este caso hipotético es solo para enfatizar la distribución de temperatura en el interior sin el efecto que produce la apertura de la ventana cenital.

En la simulación se aprecia una distribución de temperaturas en el aire interior, a consecuencia de entrada de una masa de aire del exterior con menor temperatura que la existente en el interior del invernadero.

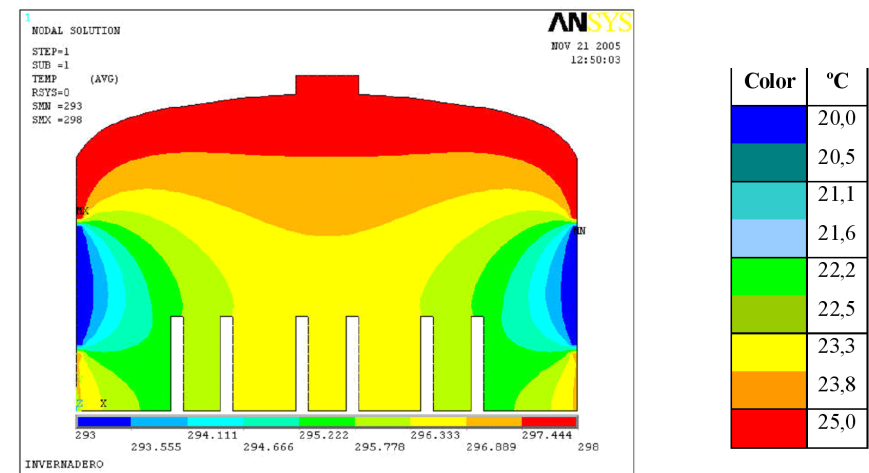


Fig. 6 Distribución de la temperatura en el aire interior de un invernadero con ventilación natural



Fig. 7 Invernadero ubicado en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Sector Santa Rosa, Mérida, Estado Mérida. (a) Invernadero con ventana cenital cerrada (b) Invernadero con ventana cenital abierta

<sup>6</sup>Ansys es un programa que permite obtener soluciones aproximadas de los problemas de ingeniería, mediante el método de elementos finitos contribuyendo a reducir el tiempo total de desarrollo de un proyecto

<sup>7</sup>Briceño, L. Informe Elemento finito, simulación del proceso térmico simplificado de un invernadero. 2005. Análisis numérico II. Postgrado Matemática Aplicada a la Ingeniería. ULA

<sup>8</sup>Ventana cenital ubicada a lo largo del techo de un invernadero