



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO  
FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO**

**PARAMETROS DE DISEÑO BAJO ESTRATEGIAS PASIVAS PARA  
INVERNADEROS DE SECADO DE GRANOS CON EL FIN DE REDUCIR EL  
TIEMPO DEL PROCESO Y EL ESTRÉS TERMICO DE LOS TRABAJADORES.**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y  
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**AUTOR: NATALIA PONGUTÁ ROJAS**

**PROFESOR GUÍA: JESUS A. PULIDO**

**CONCEPCION, 9 de marzo de 2020**

## Resumen

La infraestructura existente para el secado de granos en la poscosecha en Colombia, se expone a las variaciones climáticas que generan un proceso prolongado de secado, afectación biológica y microbiológica al producto, generando grandes porcentajes de pérdida de la producción, y variaciones en la calidad.

Se pretende definir una tipología de invernadero de secado de granos bajo estrategias pasivas, para establecer parámetros de diseño que regulen: Temperatura, humedad relativa y ventilación con el fin de reducir el tiempo de secado y el estrés térmico de los trabajadores.

A través de la recolección y análisis de la información climatológica del emplazamiento del invernadero caso base, y lo referente a la poscosecha del grano de la quinua, se pretende identificar las estrategias pasivas a implementar, que según las simulaciones se evaluarán los resultados y así definir los parámetros de diseño.

Las estrategias pasivas propuestas generan un prototipo de invernadero el cual presenta los resultados más cercanos requeridos dentro de los rangos tanto de confort para los trabajadores como para las condiciones de secado de los granos, reduce los tiempos del proceso lo que a la postre permite mayor y mejor calidad del grano.

**Palabras claves:** Arquitectura Bioclimática, invernadero estrategias pasivas en invernaderos, control de temperatura y humedad relativa.

## **Abstract**

In Colombia the existing grain drying infrastructure is exposed to climate variations that generate a prolonged drying process and product, biological and microbiological, affectation; thus, resulting in high percentage of grain loss and variations in overall quality.

The aim is to define, under passive strategies, a type of grain drying greenhouse that will establish design parameters that will regulate: temperature, relative humidity and ventilation the purpose been to reduce grain drying time and workers thermal stress.

Trough recollection and analysis of whether information on the baseline case greenhouse along with data pertaining to the quinoa grain, we pretend to identify the passive strategies to be implemented; simulations will be carried out and results will be evaluated to finally define the design parameters.

The proposed passive strategies generate a greenhouse prototype that produces results closer to the workers comfort ranges and best grain drying conditions, thus reducing processing time and resulting in larger quantities, and a better overall quality of grain.

**Keywords:** passive strategies in greenhouse building, relative humidity and temperature control.

## Índice

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN. ....	12
1.1. Objetivo general .....	15
1.2. Objetivos específicos .....	15
1.3. Hipótesis .....	16
1.4. Marco teórico .....	16
1.4.1 Concepto de invernadero, tipología y funciones.....	16
1.4.2 Granos andinos – quinua .....	36
1.4.3 Estrés termico de los trabajadores en los invernaderos .....	38
1.4.4 Conceptos tecnicos .....	41
1.5. Metodología .....	43
CAPITULO 2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	45
2.1 Identificación del cultivo de quinua .....	45
2.1.1 Localización .....	45
2.1.2 Análisis climatológico de Sogamoso. ....	48
2.2 Datos de producción del cultivo de la Quinua .....	56
CAPITULO 3. CASO DE ESTUDIO.....	57
3.1 Caso base – Sistema convencional implementado para el secado de granos en Colombia	57
3.1.1 Descripción. ....	57
3.1.2 Simulación. ....	65
3.1.3 Análisis de resultados comparativos entre casos.....	100
3.2 Caso mejorado.....	108
3.2.1 Estrategias pasivas a implementar .....	108
3.2.2 Simulación de casos.....	114
3.2.3 Analisis de resultados .....	137
CAPITULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	146
4.1 Resultados comparativos entre caso base y caso mejorado. ....	146

4.2	Parametros de diseño.....	156
4.2.1	Parámetros. ....	157
4.2.2	Sistemas Pasivos.....	158
CAPITULO 5. CONCLUSIONES.....		160
BIBLIOGRAFIA		

## Índice de figuras

### FIGURAS CAPÍTULO 1.

1.1 Localización de Sogamoso .....	13
1.2 Cultivo de Quinoa en Siachoque y Chivata – Boyacá .....	13
1.3 Invernadero tipo Capilla .....	18
1.4 Invernadero tipo Multicapilla .....	18
1.5 Invernadero tipo Gótico .....	19
1.6 Invernadero tipo Gótico .....	19
1.7 Invernadero tipo Asimétrico .....	20
1.8 Invernadero tipo Asimétrico .....	20
1.9 Invernadero tipo túnel o semicilíndrico .....	21
1.10 Invernadero tipo túnel o semicilíndrico .....	21
1.11 Invernadero en raspa y amagado .....	22
1.12 Wallipines .....	23
1.13 Wallipines .....	23
1.14 Wallipines .....	24
1.15 Wallipines .....	24
1.16 Wallipines .....	25
1.17 Wallipines .....	25
1.18 Ventilación natural de invernaderos .....	28
1.19 Vectores de velocidad del aire dentro y alrededor de la primera capilla sobre la que incide el viento para ventilación Barlovento .....	29
1.20 Vectores de velocidad del aire dentro y alrededor de la primera capilla sobre la que incide el viento para ventilación Sotavento .....	30
1.21 Efecto de un deflector colocado bajo las ventanas cenitales sobre la circulación interior del aire .....	30
1.22 Efecto de la configuración de ventanas laterales sobre la ventilación y los procesos de intercambio de aire en la zona de cultivo. Ventanas laterales enrollables .....	30

1.23	Efecto de la configuración de ventanas laterales sobre la ventilación y los procesos de intercambio de aire en la zona de cultivo. Ventanas laterales abatibles .....	31
1.24	Efecto de la pendiente de las capillas sobre la tasa de ventilación en un invernadero de 5 capillas. Cubierta con pendiente de 12° .....	31
1.25	Efecto de la pendiente de las capillas sobre la tasa de ventilación en un invernadero de 5 capillas. Cubierta con pendiente de 32° .....	32
1.26	Estudio CFD del patrón de los flujos de aire en un invernadero con sistemas de ventilación mejorados .....	32

FIGURAS CAPÍTULO 2.

2.1	Localización Sogamoso .....	46
2.2	Localización cultivo dentro de Sogamoso .....	46
2.3	Localización cultivo en el entorno .....	47
2.4	Cultivo de Quinua en Sogamoso .....	47
2.5	Cultivo de Quinua en Sogamoso .....	48

FIGURAS CAPÍTULO 3.

3.1	Invernadero tipo capilla para secado de granos.....	58
3.2	Localización del invernadero dentro del emplazamiento caso base .....	59
3.3	Planta arquitectónica del invernadero caso base .....	59
3.4	Fachada norte y sur caso base .....	60
3.5	Fachada este y oeste caso base .....	60
3.6	Vista en 3D caso base .....	60
3.7	Tabla psicométrica .....	108
3.8	Estrategia pasiva para aumentar las ganancias solares .....	109
3.9	Estrategia pasiva para calefacción .....	110
3.10	Estrategia de ventilación natural .....	110
3.11	Localización del invernadero dentro del emplazamiento .....	111
3.12	Planta arquitectónica del invernadero caso mejorado .....	111

3.13 Fachada norte y sur caso mejorado .....	112
3.14 Corte transversal caso mejorado .....	112
3.15 Fachada este caso mejorado .....	113
3.16 Fachada poniente caso mejorado .....	113
3.17 Vista 3D caso mejorado .....	113

## Índice de tablas

### TABLAS CAPÍTULO 1.

1.1 Clasificación del metabolismo por actividad .....	39
1.2 Clasificación del metabolismo según su profesión .....	39
1.3 Clasificación del metabolismo según tarea concreta .....	39
1.4 Clasificación del metabolismo según la edad y el sexo .....	40
1.5 Valores de la resistencia en "clo" para los tipos más usuales de vestido .....	40

### TABLAS CAPÍTULO 2.

2.1 Temperatura de bulbo seco Sogamoso .....	49
2.2 Temperatura día más caluroso y día más frío Sogamoso .....	50
2.3 Radiación solar directa Sogamoso .....	51
2.4 Radiación solar difusa Sogamoso .....	52
2.5 Velocidad del viento anual m/s Sogamoso .....	53
2.6 Humedad relativa Sogamoso .....	54
2.7 Nubosidad Sogamoso .....	55

### TABLA CAPÍTULO 3.

3.1 Calculo de áreas de abertura e índice de renovación .....	58
3.2 Materiales envolvente invernadero caso base (Convencional) .....	58
3.3 Velocidad y clasificación de los vientos mensuales emplazamiento caso base .....	61
3.4 Temperatura interior anual caso base - caso 1 .....	68
3.5 Día con la temperatura más alta caso base – caso 1 .....	68
3.6 Día con la temperatura más baja caso base – caso 1 .....	69
3.7 Ganancias solares anuales caso base – caso 1 .....	72
3.8 Humedad relativa anual caso base – caso 1 .....	74
3.9 Índice de confort anual caso base – caso 1 .....	76
3.10 Temperatura interior anual caso base – caso 2 .....	79
3.11 Día con la temperatura más alta caso base – caso 2 .....	79

3.12 Día con la temperatura más baja caso base - caso 2 .....	80
3.13 Ganancias solares anuales caso base – caso 2 .....	83
3.14 Humedad relativa anual caso base – caso 2 .....	85
3.15 Índice de confort anual caso base – caso 2 .....	88
3.16 Temperatura interior anual caso base – caso 3 .....	91
3.17 Día con la temperatura más alta caso base – caso 3 .....	91
3.18 Día con la temperatura más baja caso base – caso 3 .....	92
3.19 Ganancias solares anuales caso base – caso 3 .....	94
3.20 Humedad relativa anual caso base – caso 3 .....	97
3.21 Índice de confort anual caso base – caso 3 .....	99
3.22 Calculo de áreas de abertura e índice de renovación caso mejorado .....	114
3.23 Materiales envolvente invernadero caso mejorado .....	114
3.24 Temperatura interior mensual caso mejorado – caso A .....	117
3.25 Día más caluroso caso mejorado – caso A .....	117
3.26 Día con la temperatura más baja caso mejorado – caso A .....	118
3.27 Ganancias solares anuales caso mejorado – caso A .....	120
3.28 Humedad relativa anual caso mejorado – caso A .....	123
3.29 Índice de confort anual caso mejorado – caso A .....	125
3.30 Temperatura interior anual caso mejorado – caso B .....	128
3.31 Día más caluroso caso mejorado – caso B .....	128
3.32 Día con la temperatura más baja caso mejorado – caso B .....	129
3.33 Ganancias solares anuales caso mejorado – caso B .....	131
3.34 Humedad relativa anual caso mejorado – caso B .....	134
3.35 Índice de confort anual caso mejorado – caso B .....	136

TABLA CAPÍTULO 4.

4.1 Comparativo caso base – caso mejorado temperatura media anual .....	147
4.2 Comparativo caso base – caso mejorado horas aptas para el secado de los granos día más caluroso .....	149

4.3 Comparativo caso base – caso mejorado diferencia entre la temperatura más alta y más baja día más caluroso .....	150
4.4 Comparativo caso base – caso mejorado horas aptas para el secado de los granos día más frío .....	151
4.5 Comparativo caso base – caso mejorado diferencia entre la temperatura más alta y más baja día más frío .....	152
4.6 Comparativo caso base – caso mejorado Ganancias solares anuales .....	153
4.7 Comparativo caso base – caso mejorado Humedad relativa anual .....	154
4.8 Comparativo caso base – caso mejorado % de horas en rango de confort .....	155

## Índice de gráficos

### GRAFICOS CAPÍTULO 1.

1.1 Gradiente térmico (Temperatura interior - temperatura exterior) en función del caudal del aire .....	27
--	----

### GRAFICOS CAPÍTULO 2.

2.1 Temperatura de bulbo seco Sogamoso .....	49
2.2 Radiación solar directa Sogamoso .....	50
2.3 Radiación solar difusa Sogamoso .....	51
2.4 Velocidad del viento anual m/s Sogamoso .....	52
2.5 Humedad relativa Sogamoso .....	53
2.6 Nubosidad Sogamoso .....	54
2.7 Precipitación Sogamoso .....	55

### GRAFICOS CAPÍTULO 3.

3.1 Vientos predominantes sobre fachadas caso base .....	65
3.2 Temperatura interior mensual caso base – caso 1 .....	66
3.3 Día con la temperatura más alta caso base – caso 1 .....	69
3.4 Día con la temperatura más baja caso base – caso 1 .....	69
3.5 Ganancias solares mensuales caso base – caso 1 .....	70
3.6 Humedad relativa mensual caso base – caso 1 .....	72
3.7 Índice de confort mensual caso base – caso 1 .....	75
3.8 Temperatura interior caso base – caso 2 .....	77
3.9 Día con la temperatura más alta caso base – caso 2 .....	80
3.10 Día con la temperatura más baja caso base – caso 2 .....	80
3.11 Ganancias solares mensuales caso base – caso 2 .....	81
3.12 Humedad relativa caso base – caso 2 .....	83
3.13 Índice de confort caso base – caso 2 .....	86
3.14 Temperatura interior mensual caso base – caso 3 .....	89

3.15 Día con la temperatura más alta caso base – caso 3 .....	91
3.16 Día con la temperatura más baja caso base – caso 3 .....	92
3.17 Ganancias solares mensuales caso base – caso 3 .....	92
3.18 Humedad relativa mensual caso base – caso 3 .....	95
3.19 Índice de confort mensual caso base – caso 3 .....	98
3.20 Comparativo caso base caso 1,2 y 3 temperatura media anual .....	100
3.21 Comparativo caso base caso 1,2 y 3 temperatura media mensual .....	101
3.22 Comparativo caso base caso 1,2 y 3 día más caluroso .....	101
3.23 Comparativo caso base caso 1,2 y 3 día más caluroso por hora .....	102
3.24 Comparativo caso base caso 1,2 y 3 día más frío .....	103
3.25 Comparativo caso base caso 1,2 y 3 día más frío por hora .....	104
3.26 Comparativo caso base caso 1,2 y 3 Ganancias solares anuales .....	105
3.27 Comparativo caso base caso 1,2 y 3 Ganancias solares mensuales .....	105
3.28 Comparativo caso base caso 1,2 y 3 Humedad relativa anual .....	106
3.29 Comparativo caso base caso 1,2 y 3 Humedad relativa mensuales .....	106
3.30 Comparativo caso base caso 1,2 y 3 % en rango de confort anual .....	107
3.31 Comparativo caso base caso 1,2 y 3 % en rango de confort mensual .....	107
3.32 Temperatura interior mensual caso mejorado – caso A .....	115
3.33 Día más caluroso caso mejorado – caso A .....	117
3.34 Día con la temperatura más baja caso mejorado – caso A .....	118
3.35 Ganancias solares mensuales caso mejorado – caso A .....	118
3.36 Humedad relativa mensual caso mejorado – caso A .....	121
3.37 Índice de confort mensual caso mejorado – caso A .....	124
3.38 Temperatura interior mensual caso mejorado – caso B .....	126
3.39 Día más caluroso caso mejorado – caso B .....	128
3.40 Día con a temperatura más baja caso mejorado – caso B .....	129
3.41 Ganancias solares mensuales caso mejorado – caso B .....	129
3.42 Humedad relativa mensual caso mejorado – caso B .....	132
3.43 Índice de confort mensual caso mejorado – caso B .....	135

3.44 Comparativo caso mejorado A y B temperatura media anual .....	137
3.45 Comparativo caso mejorado A y B temperatura media mensual .....	138
3.46 Comparativo caso mejorado A y B día más caluroso .....	138
3.47 Comparativo caso mejorado A y B día más caluroso por horas .....	139
3.48 Comparativo caso mejorado A y B día más frío .....	140
3.49 Comparativo caso mejorado A y B día más frío por horas .....	141
3.50 Comparativo caso mejorado A y B Ganancias solares anuales .....	142
3.51 Comparativo caso mejorado A y B Ganancias solares mensuales .....	143
3.52 Comparativo caso mejorado A y B Humedad relativa anual .....	143
3.53 Comparativo caso mejorado A y B Humedad relativa mensual .....	144
3.54 Comparativo caso mejorado A y B % horas en rango de confort .....	144
3.55 Comparativo caso mejorado A y B % horas en rango de confort PMV .....	145

#### GRAFICOS CAPÍTULO 4.

4.1 Comparativo caso base – caso mejorado temperatura media anual .....	147
4.2 Comparativo caso base – caso mejorado máxima y mínima media anual .....	148
4.3 Comparativo caso base – caso mejorado horas aptas para el secado de los granos día más caluroso .....	149
4.4 Comparativo caso base – caso mejorado diferencia entre la temperatura más alta y más baja día más caluroso .....	150
4.5 Comparativo caso base – caso mejorado horas aptas para el secado de los granos día más frío .....	151
4.6 Comparativo caso base – caso mejorado diferencia entre la temperatura más alta y más baja día más frío .....	152
4.7 Comparativo caso base – caso mejorado Ganancias solares anuales .....	153
4.8 Comparativo caso base – caso mejorado Humedad relativa anual .....	154
4.9 Comparativo caso base – caso mejorado % de horas en rango de confort .....	155

## **CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.**

El presente trabajo está dirigido hacia la infraestructura invernaderos de producción de alimentos específicamente los implementados en el secado de los granos andinos en Colombia, con el fin de determinar parámetros de diseño que generen mayor eficiencia en el tiempo de secado y mejore las condiciones térmicas de los trabajadores dentro de la infraestructura.

Las justificaciones para encaminar en esta línea de trabajo se debe a: La falta de tecnificación de la infraestructura para las diferentes etapas de los procesos de poscosecha de los cultivos, genera grandes pérdidas económicas, ineficiencia en el uso de los recursos naturales (agua) y producción de alimentos, generando y aumentando los factores de inseguridad alimentaria; Aunque a pesar de implementarse equipos y tecnologías estos son de costos elevados en la operación y mantenimiento generando sobre costo en el producto final y llegando a ser menos asequible.

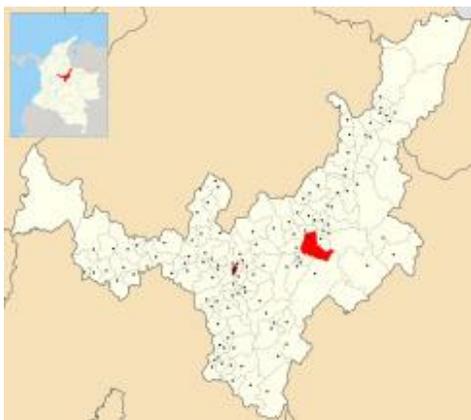
Alimentos como la Quinoa que se encuentra dentro de los granos andinos, son catalogados por la FAO de gran importancia dentro de la seguridad alimentaria a nivel mundial, especialmente en zonas con condiciones desfavorables para la producción de alimentos (Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional 2017).

Colombia se encuentra dentro de los primeros exportadores de Quinoa (2013 y 2014) ALADI (2013-2014), sin embargo, para mejorar la producción tiene varios problemas por solucionar como son: La falta de infraestructura adecuada para la trilla, secado y almacenamiento, la cual pueda combatir las afectaciones por variaciones climáticas (El Cultivo de la Quinoa en Colombia y sus perspectivas futuras 2015).

En los invernaderos como estrategia para el secado de los alimentos protegiendo la cosecha del clima y afectaciones por animales, los trabajadores tienen una tarea específica en el proceso y cierto requerimiento de tiempo dentro de este, donde la temperatura que se requiere para una buena calidad del producto muchas veces está por encima del confort laboral, por lo que se encuentra este afectado por el estrés térmico, generado por condiciones como: Temperatura del

ambiente, humedad del aire, temperatura radiante y ventilación (Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Agrícolas de Almeira 2006).

La ciudad principal de la provincia del Sugamuxi, Sogamoso se encuentra ubicada en el centro oriente de Colombia en el departamento de Boyacá a una latitud de 5° 42' 57" Norte y una longitud de 72° 55' 38" Oeste, se encuentra en una altitud de 2.500 msnm en la zona plana del valle de Iraka y a los 3.900 msnm en la zona de la alta montaña, la temperatura promedio es de 17Cº , la humedad relativa se encuentra por encima del 69% hasta el 78%, velocidad del viento 1.2m/s, en cuanto a la precipitación media anual 930 milímetros, el valor medio mensual de brillo solar se encuentra entre 104 y 230 horas (IDEAM. 2018). Actualmente existen asociaciones de cultivadores de quinua en Sogamoso como en los municipios pertenecientes a la provincia del Sugamuxi, que carecen de la infraestructura adecuada para la eficiencia de la producción de los granos.



**Figura 1.1 Localización de Sogamoso.**  
Fuente <https://es.wikipedia.org/wiki/Sogamoso>



**Figura 1.2 Cultivo de Quinua en Siachoque y Chivata - Boyacá.**  
Fuente Empresa COLQUINAS S.A.S.

El compromiso adquirido de los países dentro de los cuales se encuentra Colombia, con el cumplimiento de lo establecido en los *ODS Objetivos de desarrollo sostenible*, con referencia al objetivo *“Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible”* (ODS Objetivos de desarrollo Sostenible) al 2030, busca reforzar *“la necesidad de desarrollar modelos más sostenibles de producción, que sean inclusivos, accesibles, Eficientes y ambientalmente responsables. En definitiva, aboga por alcanzar un mundo libre de hambre y malnutrición a través de la promoción de sistemas alimentarios sostenibles, sensibles a la nutrición, y que favorezcan la realización del derecho a la alimentación y la salud”* (Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional 2017). La falta de tecnificación en la infraestructura para evitar las pérdidas en la poscosecha retrasa el cumplimiento de las metas dentro de lo comprometido.

La infraestructura existente no es la adecuada para el proceso de secado de los alimentos en la etapa de la poscosecha de los cultivos en Colombia, se expone a las variaciones climáticas que generan un proceso prolongado de secado, afectación biológica y microbiológica al producto, generando grandes porcentajes de pérdida de la producción, y la falta de control de las variables climáticas también genera variaciones en la calidad.

Cultivos como la quinua uno de los granos andinos requiere dos etapas de secado en la poscosecha, la primera es las panojas preparándose para la trilla que requiere aproximadamente de 7 a 15 días para el secado en el sistema convencional y la segunda corresponde al grano, donde el requerimiento de temperatura para el secado es máximo hasta 35°C ya que a mayor temperatura puede perder sus propiedades y la humedad relativa del aire no puede ser mayor de 70%.

La exposición de los trabajadores a las temperaturas de los invernaderos puede generar riesgos desde la disminución del rendimiento hasta problemas de salud, *“Desde alteraciones cutáneas leves por efecto del sudor, edemas en manos y pies, calambres, síncope y agotamiento por calor, hasta el denominado “golpe de calor”, que puede generar secuelas irreversibles al verse dañados los tejidos internos, pudiendo ocasionar incluso la muerte”* (Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Agrícolas de Almeira 2006).

Conceptos ancestrales en la producción de alimentos como es el *WALLIPIN* infraestructura tipo invernadero semisubterráneo implementado en condiciones climáticas extremas (FAO 2012), establece estrategias pasivas para promover la conservación del calor. En el año 2015 la universidad de Murcia en España construyó un invernadero bioclimático destinado a los trabajos de jardinería del campus. En cuanto a trabajos realizados en Colombia se encuentra un proyecto de investigación referente a *Diseño y evaluación climática de un invernadero para condiciones de clima intertropical de montaña* (VILLAGRÁN 2016), donde se realiza estudios de simulación CFD de un modelo convencional, y otros con diferentes parámetros de diseño, sin embargo, no se contempla el cambio o la implementación de otros materiales. El invernadero es una infraestructura que se implementa en todos los procesos de producción de los alimentos, sin embargo, en las investigaciones anteriores solo se contempla para los cultivos, no se ha realizado un análisis de estos en otros procesos en etapas como la poscosecha referente al secado de la producción, y de la misma manera no cuentan con resultados con respecto al estrés térmico de los trabajadores.

Esta investigación pretende definir una tipología de invernadero implementado en el secado de granos bajo estrategias pasivas, para establecer parámetros de diseño que regulen: Temperatura, humedad relativa y ventilación con el fin de reducir el tiempo de secado y el estrés térmico de los trabajadores, a través de un análisis climatológico del lugar de emplazamiento de la tipología de invernadero, para definir parámetros de diseño que a través de simulaciones se evaluarán los resultados.

### 1.1. Objetivo general

Definir una tipología de invernadero implementado en el secado de granos bajo estrategias pasivas, para establecer parámetros de diseño que controlen la temperatura, humedad relativa y ventilación con el fin de reducir el tiempo de secado y el estrés térmico de los trabajadores.

### 1.2. Objetivos específicos

- Analizar las variables climáticas del emplazamiento de la tipología de invernadero, en un cultivo de Quinua en Sogamoso – Colombia para definir las zonas de confort, calentamiento, ventilación, humedad y sombreado.

- Identificar y analizar las estrategias pasivas para establecer los parámetros de diseño de la tipología de invernadero de secado de la quinua, implementando herramienta de simulación.
- Evaluar los resultados obtenidos en la simulación, para medir la reducción del tiempo de secado y estrés térmico de los trabajadores.

### 1.3. Hipótesis

El análisis del clima según el emplazamiento y las condiciones térmicas de la tipología de invernadero existente para el secado de los granos, permitirá identificar y evaluar estrategias pasivas para establecer parámetros de diseño que permitan controlar la temperatura, la humedad relativa y ventilación con el fin de reducir el tiempo de secado, mejorar y dar mayor seguridad a la producción, calidad de los alimentos preservando sus componentes nutricionales y asegurar las condiciones de los trabajadores con respecto al confort laboral, y de la misma manera reducir los consumos de energía y recursos en estos procesos.

### 1.4. Marco teórico

#### 1.4.1 Concepto de invernadero, tipología y funciones.

Los invernaderos son recintos implementados para el cultivo de diferentes procesos en la producción de alimentos o el secado, donde se busca generar un microclima para acelerar el crecimiento y proteger los cultivos de las diferentes variables climáticas que los afectan como la temperatura, humedad relativa, vientos y luminosidad. La necesidad de implementar los invernaderos se ha generado debido a las estaciones en el año que no permiten la continuidad en los cultivos y producción de los alimentos al generar un recinto donde se pueda controlar la temperatura y cubrir de una mejor forma las necesidades de los cultivos y aumentar la producción de estos. La diversidad en clima y disponibilidad de recursos de las diferentes regiones ha hecho que no exista una estructura universal de invernadero, teniendo éste en muchos casos un desarrollo local (LOPEZ 2006).

Las características de los invernaderos son la cubierta y muros transparentes en vidrio o plástico para permitir la radiación solar, estructura en madera, acero galvanizado o aluminio. El clima exterior es determinante para la localización y otros aspectos como la forma geométrica para el control de la temperatura y la humedad relativa.

Lo que se debe tener en cuenta para la construcción de un invernadero es: Altura recomendable del invernadero es la que permite alcanzar 3 metros de altura por metro cuadrado de superficie. La orientación, se requiere la mayor captación de radiación solar (Este a oeste), los vientos predominantes y las líneas de cultivo son indispensables para definir la orientación (Marín 2013). La ventilación en los invernaderos es de gran importancia ya que para regular la temperatura y la humedad relativa a través de la renovación del aire (Necesidad de ventilación – número de renovaciones del volumen de aire por hora) del invernadero, ya sea por medio de la ventilación natural (aperturas o ventanas) o por la ventilación forzada (ventiladores eléctricos), esta varía según la radiación solar y el aumento de la temperatura dentro del invernadero (FAO 2002).

Los nuevos desarrollos para invernaderos se están diseñando bajo las premisas de: - Incrementar la transmisividad de la radiación - Ahorrar energía mediante un aumento de la eficiencia y aplicación sostenible. - Reducir las emisiones de gases tóxicos, pesticidas, fertilizantes, etc. - Aumentar la seguridad: salud y laboral (López 2006).

Tipología o diseños de invernaderos.

- **Capilla y multicapilla**

Estos invernaderos son los que su cubierta es a dos o un agua, se recomienda que la inclinación sea mayor de 25°, y la ventilación es a través de ventanas laterales.



**Figura 1.3 Invernadero tipo Capilla**  
Fuente <http://cacao.movil.com/guia/8/contenido/secado/>



**Figura 1.4 Invernadero tipo Multicapilla.**  
Fuente <http://www.agriexpo.online/es/prod/stuppy-inc/product-178501-38913.html>

- **Góticos**

La geometría de la cubierta es un arco ojival que da mayor capacidad de altura cenital, mayor tasa de renovación de volumen de aire al igual que iluminación interior.



**Figura 1.5 Invernadero tipo Gótico.**

Fuente <https://www.invernaderosima.com/es/invernadero-multicapilla-g%C3%B3tico.html>



**Figura 1.6 Invernadero tipo Gótico.**

Fuente <https://www.invernaderosima.com/es/invernadero-k2.html>

- **Asimétrico**

Se diferencia de los demás porque la geometría de la cubierta es asimétrica, aumenta la superficie de uno de los lados al igual que la inclinación, con el fin de conseguir mayor captación de radiación solar e incida perpendicularmente.



**Figura 1.7 Invernadero tipo Asimétrico.**

Fuente <https://www.invernaderosima.com/es/invernadero-tropical.html>



**Figura 1.8 Invernadero tipo Asimétrico.**

Fuente <https://www.invernaderosima.com/es/invernadero-tropical.html>

- **Invernaderos túnel o semicilíndrico**

La estructura de estos invernaderos es un arco que empieza desde el suelo por lo tanto su estructura es metálica, mayor resistencia a los vientos fuertes, fácil y rápida instalación.



**Figura 1.9 Invernadero tipo túnel o semicilíndrico.**

Fuente <https://www.ulmaagricola.com/fr/serres/tunnel/>



**Figura 1.10 Invernadero tipo túnel o semicilíndrico.**

Fuente <https://www.ulmaagricola.com/fr/serres/tunnel/>

- **Invernadero en raspa y amagado**

Estos invernaderos son planos o tipo parral, se compone de dos elementos la raspa que es la parte superior con alturas hasta de 4.2 m y el amagado la inferior con una altura entre 2.0 m y 2.8 m.



**Figura 1.11 Invernadero en raspa y amagado.**

Fuente <http://www.agromediterraneo.eu/seccion/invernadero-tipo-amagado-con-canales-centrales>

- **Wallipines**

Este tipo de invernaderos se implementa en climas extremos, son construcciones semisubterráneas o con muros en tierra, cubierta transparente a una sola agua inclinada. Se construye en terrenos más arcillosos que arenosos. La orientación debe ser la parte más alta de la cubierta hacia el sur y la puerta de acceso en la dirección de los vientos predominantes.

La implementación de estos también se encuentra en los cultivos de flores, como es el caso del proyecto OCLADE (Obra Claretiana Para el Desarrollo), en la puna de Jujuy (Abrapampa). - Argentina.

Se han realizado estudios como la tesis de grado “Invernaderos sostenibles para la producción de hortalizas en zonas alto andinas del Cusco”, donde se realizó la evaluación del balance térmico de tres tipos de invernaderos: El primero compuesto por techo tipo capilla, estructura en madera, cubierta en polietileno de baja densidad, sin muro de adobe y pantalla antirradiativa, área de 48m<sup>2</sup>. El segundo tipo se compone de paredes de adobe y techo curvo – semielíptico en polietileno de baja densidad, pantalla antirradiativa – arpillera, área de 24m<sup>2</sup>. El tercero

invernadero de palo con techo a dos aguas y murete perimetral de adobe, pantalla antirradiativa – tela tocuyo, área de 48m<sup>2</sup>. Concluyendo que los efectos de la implementación del adobe en los muros y la pantalla antirradiativa, reducen las pérdidas en el segundo en un 57%, en el tercero en un 39% con respecto a los resultados del primer tipo, debido al confinamiento, hermeticidad de puertas y ventanas en los dos últimos tipos.



**Figura 1.12 Wallipines**

Fuente Guía para la construcción de Wallipines.



**Figura 1.13 Wallipines.**

Fuente <http://lapatriaenlinea.com/?t=la-importancia-de-construir-carpas-solares-familiares&nota=88388>



**Figura 1.14 Wallipines.**

**Fuente** Invernaderos sostenibles para la producción de hortalizas en zonas alto andinas de Cusco.



**Figura 1.15 Wallipines**

**Fuente** Invernaderos sostenibles para la producción de hortalizas en zonas alto andinas de Cusco.



**Figura 1.16 Wallipines**

**Fuente** Invernaderos sostenibles para la producción de hortalizas en zonas alto andinas de Cusco.



**Figura 1.17 Wallipines.**

**Fuente** Invernaderos sostenibles para la producción de hortalizas en zonas alto andinas de Cusco.

### Funciones de los invernaderos

#### ***Invernaderos para cultivos y germinado de semillas.***

Para cumplir las necesidades de los cultivos en los invernaderos se deben tener en cuenta los requerimientos de cada planta, se debe conocer y analizar las variables climáticas de la localización y características de los materiales a implementar. Este sistema también es conocido como cultivos protegidos.

Los cultivos requieren una cierta amplitud o variación diaria de temperatura, para que su comportamiento fisiológico sea normal. La diferencia mínima entre las temperaturas medias del día y de la noche, es alrededor de 5° a 7°C (FAO2002). La regulación de la humedad relativa es mayor ya que se debe implementar sistemas de riego a los cultivos.

#### ***Invernaderos para secado.***

En el secado a bajas temperaturas en particular, la tasa de secado depende de la capacidad del aire para evaporar la humedad (potencial de secado), la cual es determinada por las condiciones psicométricas del aire: temperatura y humedad relativa (FAO 1991).

Los invernaderos también se utilizan para el secado de otros productos como es el grano del café y cacao, etapa importante para la calidad y costos de producción del producto.

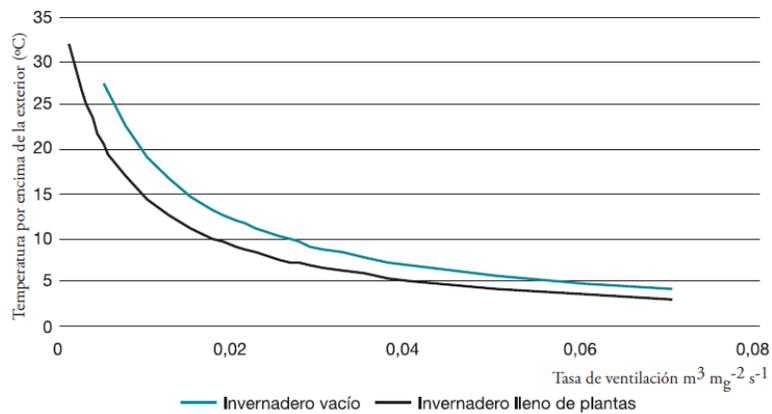
### Refrigeración en los invernaderos

#### ***Ventilación natural***

La ventilación natural en los invernaderos se genera a través de ventanas o aperturas laterales y en la cubierta, para el control de la temperatura interior debido a que el aire interior se encuentra con mayor temperatura y el aire exterior es más frío por lo tanto se encuentra más denso y genera la elevación del aire interior para salir por las aberturas de la cubierta y así regular la temperatura interior. Sin embargo, la ventilación no puede reducir la temperatura interior del invernadero por debajo de la exterior. (BAEZA, PEREZ. 2014.).

**Grafico 1.1 Gradiente térmico (Temperatura interior - temperatura exterior) en función del caudal del aire.**

**Fuente** Avances en el estudio de la ventilación natural de invernaderos.

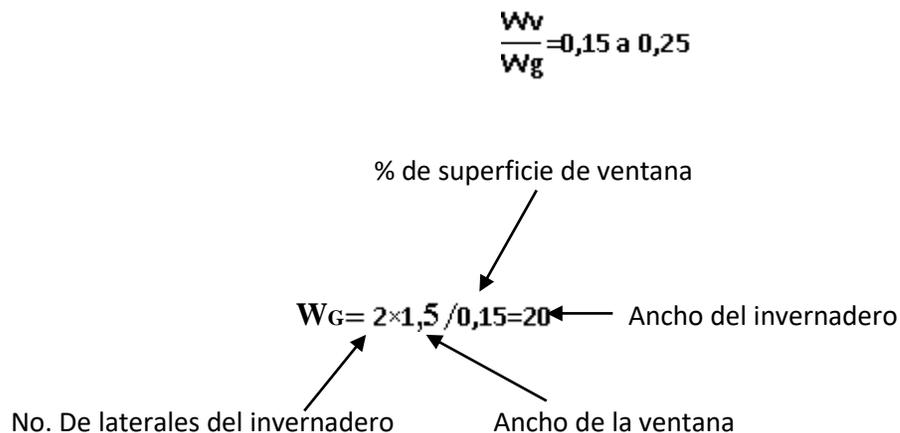


En la ventilación natural, la tasa de ventilación depende, en gran medida, de la superficie de las ventanas. Por tanto, incrementar su área significa aumentar el flujo de aire. La experiencia práctica obtenida de refrigerar de forma natural los invernaderos comerciales nos indica que, para tener una ventilación adecuada, el área total de ventanas debe suponer entre un 15 y un 25 % del área de suelo cubierta por el invernadero (sin considerar el efecto de la malla anti insecto). (BAEZA, PEREZ. 2014.).

Al implementar únicamente ventanas laterales y frontales, se debe calcular el ancho máximo del invernadero, teniendo en cuenta las observaciones anteriores con respecto al porcentaje del área total de ventanas, que a través de esta fórmula se puede calcular:

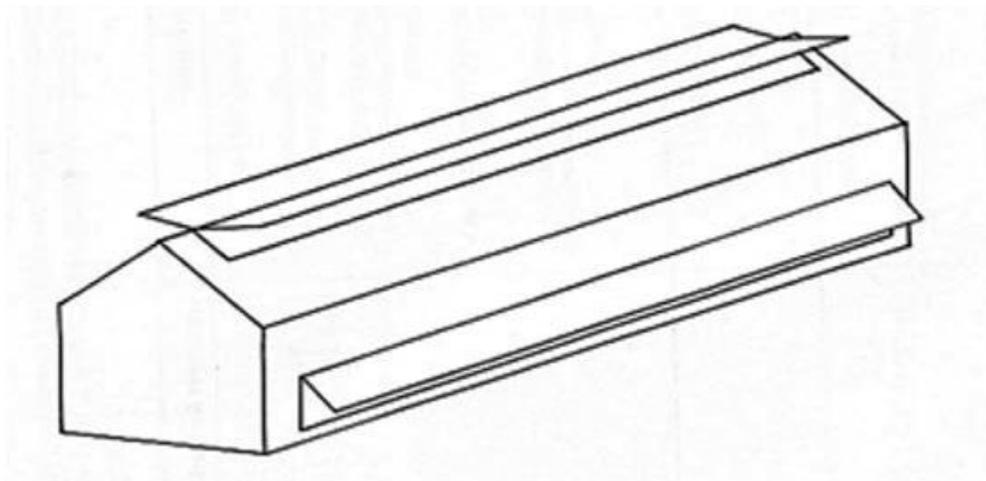
$$\frac{\text{Superficie de ventana } A_v}{\text{Superficie de suelo } A_g} = 0,15 \text{ a } 0,25$$

Fórmula hallar ancho del invernadero cuando la ventana tiene la misma longitud que el invernadero:



Si los invernaderos tienen cubierta de vidrio o de plásticos rígidos, se recomienda que tengan ventanas en ambos laterales y en la zona superior del techo. Para el caso de invernaderos individuales la superficie de ventanas laterales debe ser igual a la superficie de ventanas en el techo. (FAO. 2002).

Las ventanas cenitales y laterales son continuas se extienden a lo largo del invernadero. Estas ventanas son más efectivas cuando los invernaderos son angostos



**Figura 1.18 Ventilación natural de invernaderos.**  
Fuente Avances en el estudio de la ventilación natural de invernaderos.

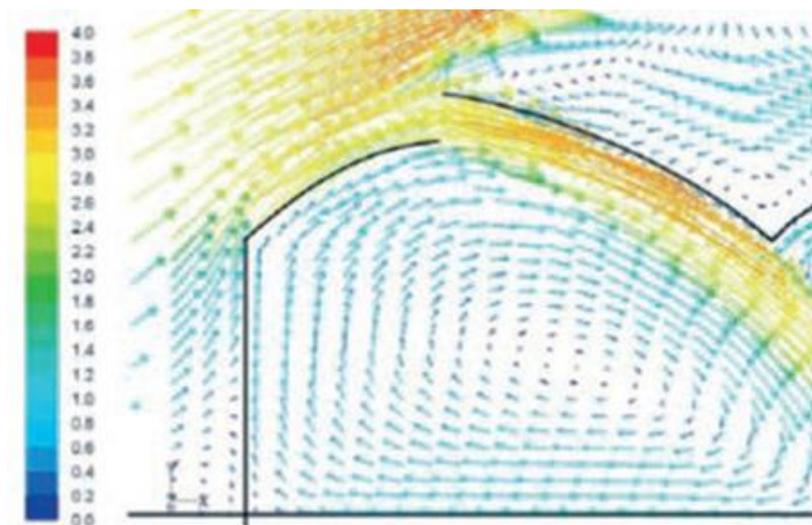
En los invernaderos que son implementados para cultivos la temperatura es más baja ya que las plantas absorben la radiación solar para evaporar el agua a través de la transpiración de las hojas,

por lo tanto, en los invernaderos para secado de los granos es mayor la temperatura ya que la transpiración es menor.

En cuanto a la implementación de los cultivos en los invernaderos, las hileras deben correr paralelamente a la dirección de los vientos dominantes, de manera que así se aumenta el número de cambios de aire por hora. (FAO.2002)

Los dos principales casos de estudio considerados son la ventilación a barlovento y a sotavento. La ventilación a barlovento es preferible sobre la de sotavento para invernaderos ubicados en zonas cálidas, dado que la ventilación a barlovento incrementa claramente la tasa de ventilación (Pérez-Parra, 2002). Sin embargo, el clima interior es generalmente menos uniforme para la ventilación a barlovento. (BAEZA, PEREZ. 2014.).

Se han realizado análisis de los efectos de la ventilación barlovento y sotavento a través de simulaciones CFD, para analizar los flujos de aire con aberturas en la cubierta y otras opciones de optimización.



**Figura 1.19** Vectores de velocidad del aire dentro y alrededor de la primera capilla sobre la que incide el viento para ventilación Barlovento.

**Fuente** Avances en el estudio de la ventilación natural de invernaderos.

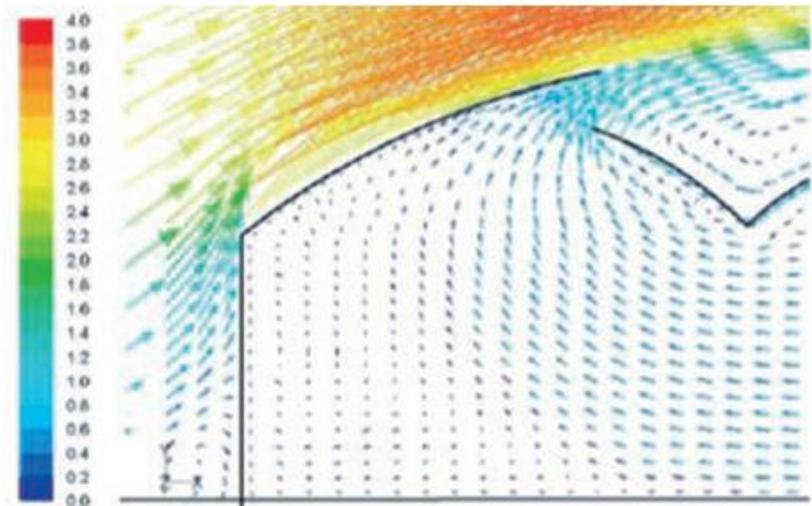


Figura 1.20 Vectores de velocidad del aire dentro y alrededor de la primera capilla sobre la que incide el viento para ventilación Sotavento.

Fuente Avances en el estudio de la ventilación natural de invernaderos.

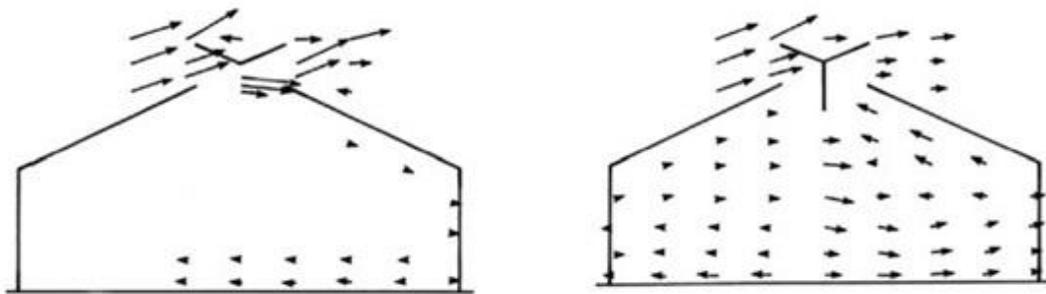


Figura 1.21 Efecto de un deflector colocado bajo las ventanas cenitales sobre la circulación interior del aire.

Fuente Nielsen (2002).

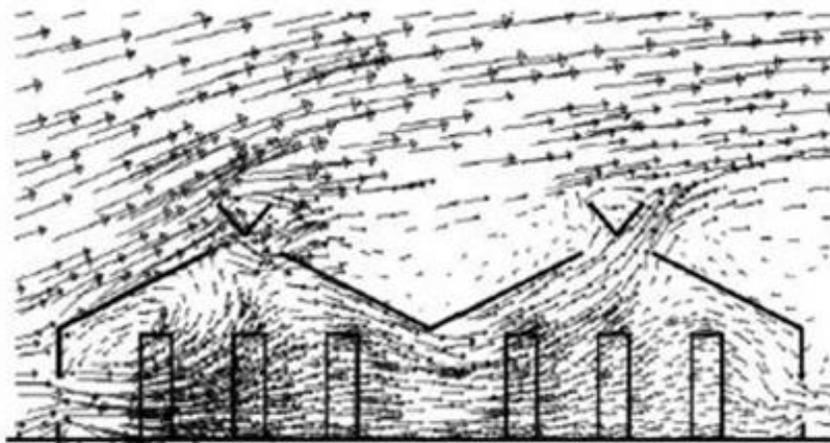
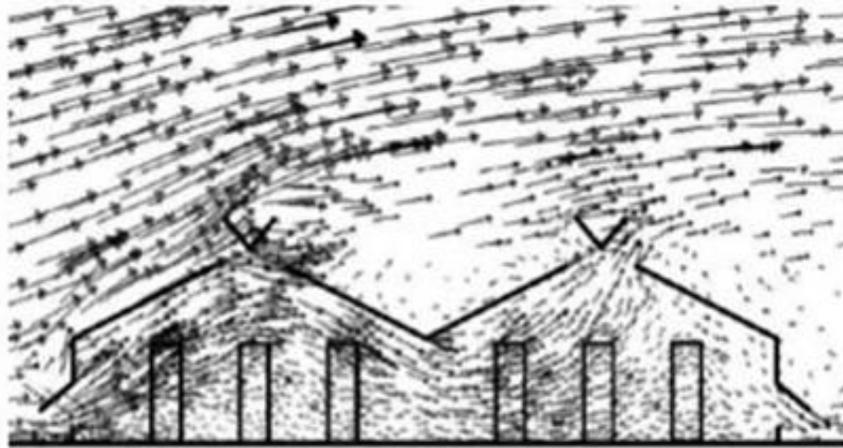


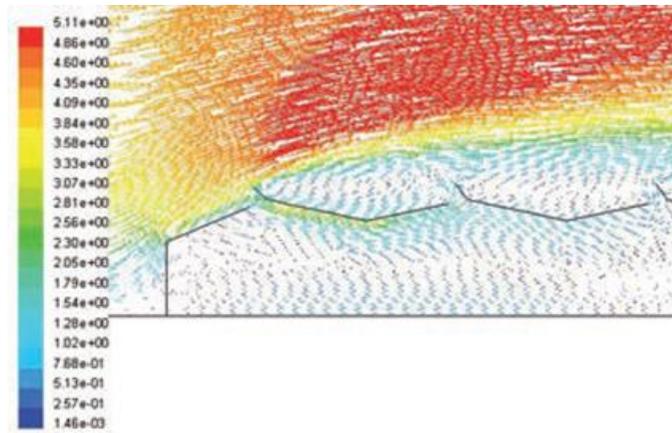
Figura 1.22 Efecto de la configuración de ventanas laterales sobre la ventilación y los procesos de intercambio de aire en la zona de cultivo. Ventanas laterales enrollables.

Fuente Avances en el estudio de la ventilación natural de invernaderos.



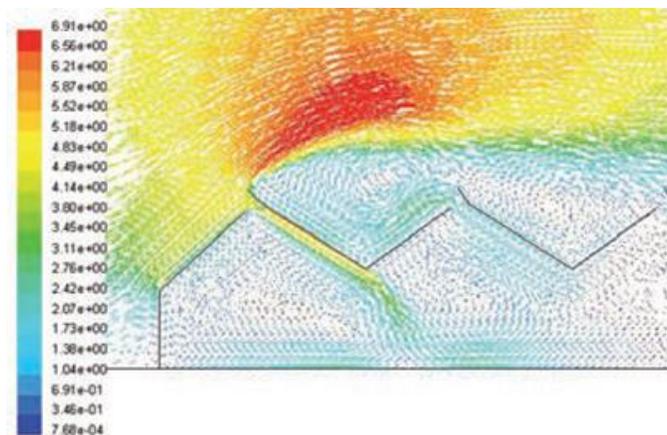
**Figura 1.23** Efecto de la configuración de ventanas laterales sobre la ventilación y los procesos de intercambio de aire en la zona de cultivo. Ventanas laterales abatibles.

Fuente Avances en el estudio de la ventilación natural de invernaderos.



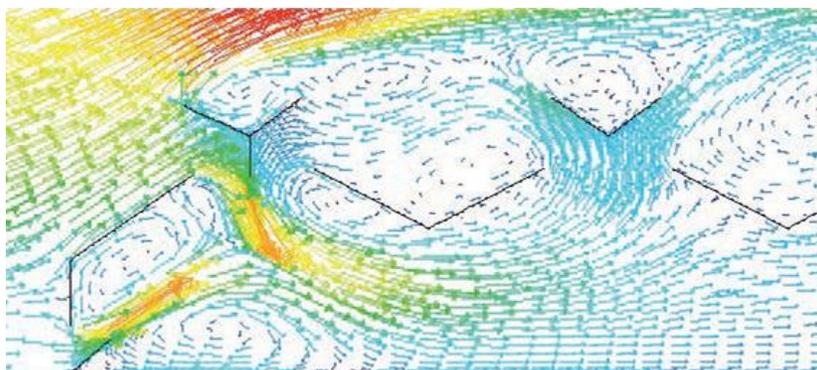
**Figura 1.24** Efecto de la pendiente de las capillas sobre la tasa de ventilación en un invernadero de 5 capillas. Cubierta con pendiente de 12°.

Fuente Avances en el estudio de la ventilación natural de invernaderos.



**Figura 1.25** Efecto de la pendiente de las capillas sobre la tasa de ventilación en un invernadero de 5 capillas. Cubierta con pendiente de 32°.

Fuente Avances en el estudio de la ventilación natural de invernaderos.



**Figura 1.26** Estudio CFD del patrón de los flujos de aire en un invernadero con sistemas de ventilación mejorados.

Fuente Avances en el estudio de la ventilación natral de invernaderos.

### ***Ventilación activa***

La ventilación forzada por medio de ventiladores o extractores, es el medio más efectivo de ventilar un invernadero, pero tiene el inconveniente de consumir electricidad. El principio de la ventilación forzada es crear un flujo de aire dentro de la estructura: los ventiladores situados en un extremo del invernadero, extraen el aire y las ventanas situadas en el lado opuesto lo dejan entrar. (FAO.2002)

Las ventajas de esta ventilación son el total control y monitoreo en las condiciones climáticas deseadas dentro del invernadero y mejores resultados anuales de cultivo independientemente de

los factores externos. Las desventajas son que el costo es más alto que la ventilación natural y depende del suministro de energía eléctrica. (BAEZA, PEREZ. 2014.).

Unidades para la medida de la ventilación.

Para evaluar la ventilación del invernadero se toma en cuenta el índice de renovación del aire(N) el cual está en función del volumen de aire dentro del invernadero, y la tasa de ventilación (G) en función del área del invernadero bajo cubierta. La siguiente ecuación corresponde para el cálculo del caudal de flujo de aire:

$$Q = V \times S$$

↓  
 Velocidad del aire  
 ↑  
 Superficie de abertura

La siguiente ecuación corresponde al índice de renovación:

$$N = \frac{Q}{VI}$$

↓  
 Caudal del flujo de aire por unidad de tiempo (Q, m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>)  
 ↑  
 Volumen de aire dentro del invernadero (VI, m<sup>3</sup>)

La ecuación que hace referencia a la tasa de ventilación es la siguiente:

$$G = \frac{Q}{AI}$$

↓  
 Caudal del flujo de aire por unidad de tiempo (Q, m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>)  
 ↑  
 Area cubierta por el invernadero (AI, m<sup>2</sup>)



de distribución. Al igual existen otros sistemas que utilizan otras fuentes de calor como la energía geotérmica, utilización de calores residuales.

### Materiales convencionales para los invernaderos.

#### **Cimentación**

La cimentación del invernadero empieza desde la excavación para las zapatas o cimentación que es en hormigón y según diseño establecido, su función es la base y soporte de la estructura.

#### **Estructura**

Los materiales que se implementan en la estructura de los invernaderos son: Para las columnas, apoyos y refuerzos se utiliza la madera, acero galvanizado, hierro y aluminio. En las correas, vigas, arcos, sujeción de la cubierta y canales los materiales son acero galvanizado, hierro y aluminio.

#### **Cubierta**

Este elemento la cubierta su mayor propiedad son la transmisión de la radiación solar, la transparencia a la radiación infrarroja, luego el material que se implemente es el que requiere mayor importancia ya que debe cumplir con las características de transferencia de calor según el cultivo y el clima de la localización. El material debe garantizar el efecto invernadero. Los materiales generalmente implementados son:

Films plásticos: de polietileno, copolímero etileno vinilacetato y cloruro de polivinilo y plásticos multicapa. De buenas propiedades mecánicas, son los de mayor consumo, se clasifican en baja densidad < 930 kg/m<sup>3</sup>, media densidad 930-940 kg/m<sup>3</sup> y alta densidad >940 kg/m<sup>3</sup>. El de baja densidad es el que se utiliza para el cerramiento de los invernaderos.

Plásticos rígidos: de polimetacrilato de metilo, policarbonato y poliéster.

Vidrio: cristal de vidrio impreso.

Implementación de los invernaderos en Colombia.**Áreas de implementación de invernaderos en Colombia**

Actualmente los cultivos bajo invernadero en el país ocupan un área de 14.157 hectáreas y los cultivos que más los implementan para la producción son los siguientes:

- Tomate

El departamento con mayor producción de tomate es Boyacá, después esta Cundinamarca, Norte de Santander, Antioquia, Santander, Quindío y Caldas, con un total de 6.867 hectáreas (DANE – ENA 2013).

- Flores

Estos cultivos se encuentran la mayor parte en los departamentos de Cundinamarca con el 79%, el 17% en Antioquia y el 4% en el Valle del Cauca y Eje cafetero, con un área total de 7.290 hectáreas (DANE 2016).

Crecimiento de las áreas cultivadas en el tiempo bajo invernaderos*Cultivo del tomate bajo invernadero.*

El cultivo de tomate bajo cubierta ha tenido un espectacular crecimiento en Colombia, principalmente en el Municipio de Sutamarchán y la provincia de Ricaurte (Boyacá), donde en los últimos años se ha aumentado el área sembrada hasta alcanzar 1.009 ha bajo cubierta. Es de destacar que en el Valle de Tenza (Boyacá) por muchos años se concentró el mayor porcentaje de la producción de tomate del país hasta el punto que actualmente se producen en 60 ha (Cano y Márquez, 2005)

## 1.4.2 GRANOS ANDINOS – QUINUA

Colombia cuenta con un área sembrada de 2.550 hectáreas de cultivo de quinua, con una producción de 4.781 toneladas al año. Se estima para el 2020 tener 10.000 hectáreas de quinua orgánica y convencional sembradas, con una producción aproximada de 20.000 toneladas con las

que se beneficiarán con empleo a cerca de 20.000 familias las cuales tendrán acceso a sistemas de producción diversificada y sostenible. Los departamentos productores son Cauca, Nariño, Boyacá y Cundinamarca (MinAgricultura.2016.)

### Etapas de poscosecha de la quinua

Cuando las plantas empiezan a tomar el color amarillo es el momento de la siega, se debe cortar ya que al arrancar la planta se pueden perder varios granos, los cuales en esta etapa se encuentran con un porcentaje de humedad entre 14 y 30%.

- **Emparve o amontonado:** La poscosecha inicia en esta etapa las panojas se organizan en forma de arco o parvas para que el grano llegue a un porcentaje entre el 12 y 15% en un tiempo aproximado de 7 a 15 días.
- **Trilla:** Esta etapa consiste en separar el grano de la panoja y este debe tener un porcentaje de humedad entre el 12 y 15%.
- **Venteo y limpieza:** Después de la trilla se pasa inmediatamente a extraer los pequeños tallos restantes y otras impurezas como gránulos de suelo y polvo.
- **Desaponificación de la quinua:** Este proceso es necesario para extraer el sabor amargo y astringente del grano, existen diferentes métodos los cuales son: Lavado por agitación y turbulencia, método de fricción o rozamiento (Escarificado o pulido), método termomecánico en seco, método químico (Solución de hidróxido de sodio al 10% a 100 °C por 1.5 minutos, luego se lava y se seca), el otro método es el combinado (medios mecánicos abrasivos, se lava y se seca). (FAO2002).
- **Secado:** A través de este proceso se pretende llevar el porcentaje de humedad comercial del grano entre 12 y 14%. Existen dos métodos para el secado del grano: El natural donde se expone al sol en la sombra y a la acción del aire con un máximo del 70% de humedad relativa y 15 días de exposición, para buscar la uniformidad de secado de los granos se debe zarandear constantemente, se recomienda implementar este secado cuando las

condiciones climáticas permitan un secado en un tiempo relativamente corto, cuando la producción es pequeña y las condiciones socio económicas no justifiquen la inversión de equipos de secado artificial.(FAO.2002). Este sistema de secado que es denominado de baja temperatura en silos o invernaderos donde aumenta de 3 a 8 °C por encima de la temperatura ambiente, así que se establece como temperatura para el secado entre 20 a 25 °C según temperatura de localizaciones de 17 °C. El secado natural requiere más tiempo, pero no genera estrés térmico en el grano por tal motivo garantiza la calidad de este y que la humedad del grano sea homogénea. Este proceso se realiza en silos o invernaderos con un caudal de ventilación de 1/3 m<sup>3</sup>/min.ton o sea 20 m<sup>3</sup>/seg. Ton.

El secado artificial se implementa cuando las condiciones climatológicas no son las adecuadas para el secado natural y los volúmenes de producción son altos, en este método se somete el grano a la acción de una corriente de aire previamente calentado, las temperaturas que se implementan son: la media la cual llega hasta 43 ° C, y que permite que el producto sea para consumo humano. La temperatura alta corresponde a más de 60 °C, que se requiere para granos con destino industrial en secadora, sin embargo, estos niveles de temperatura y largos tiempos en secado pueden afectar la calidad del grano y según el tipo de este puede tener mayor o menor afectación, el secado no es uniforme el grano puede estar más seco en la parte exterior y más húmedo en el interior.

**Embalaje:** Corresponde al empaque del grano que convencionalmente son sacos tejidos con fibras vegetales o artificiales.

**Almacenamiento:** En esta etapa también es muy importante en el espacio designado para almacenar el grano, la temperatura, humedad y contenido de oxígeno, para garantizar la calidad de estos, el recinto debe conservar una humedad relativa no mayor a 70% para no permitir la reproducción de hongos y bacterias.

#### 1.4.3 ESTRÉS TÉRMICO DE LOS TRABAJADORES EN LOS INVERNADEROS

Los trabajadores en los invernaderos se ven afectados por temperaturas altas o bajas dentro de estos, que le pueden generar bajo rendimiento o problemas de salud. El efecto por calentamiento en el organismo se llama HIPERtermia que tiene como consecuencia trastornos psíquicos,

deshidratación y desalinización, hiperpirexia por golpe de calor. Y el efecto por bajas temperaturas se llama HIPOTERMIA y las consecuencias son malestar general, disminución de la destreza manual, comportamiento descoordinado por falta de riego al cerebro, congelación de los miembros (Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Agrícolas de Almeira 2006).

El cálculo del calor metabólico según la NTP 323 mediante el tipo de actividad puede clasificarse en: reposo, ligero, moderado, pesado o muy pesado.

**Tabla 1.1 Clasificación del metabolismo por actividad.**

Fuente NTP 323, INSHT.

<b>CLASE</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>
REPOSO	65
METABOLISMO LIGERO	100
METABOLISMO MODERADO	165
METABOLISMO ELEVADO	230
METABOLISMO MUY ELEVADO	290

**Tabla 1.2 Clasificación del metabolismo según su profesión.**

Fuente NTP 323, INSHT

<b>PROFESIÓN</b>	<b>METABOLISMO W/m<sup>2</sup></b>
AGRICULTURA	
JARDINERO	115 A 190
CONDUCTOR DE TRACTOR	85 A 110

**Tabla 1.3 Clasificación del metabolismo según tarea concreta.**

Fuente NTP 323, INSHT.

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>METABOLISMO W/m<sup>2</sup></b>
AGRICULTURA	
CAVADO	380
LABRANZA CON TIRO DE CABALLOS	235
LABRANZA CON TRACTOR	170
SEMBRADO CON TRACTO	95
BINA (MAS DE LA AZADILLA 1.25KG)	170

**Tabla 1.4 Clasificación del metabolismo según la edad y el sexo.**

Fuente NTP 323, INSHT.

VARONES		MUJERES	
AÑOS DE EDAD	WATIOS/M <sup>2</sup>	AÑOS DE EDAD	WATIOS/M <sup>2</sup>
6	61.48	6	58.719
7	60.842	6.5	58.267
8	60.065	7	56.979
8.5	59.392	7.5	55.494
9	58.626	8	54.520
9.5	57.327	8.5	53.940
10	56.260	9-10	53.244
10.5	55.344	11	52.502
11	54.729	11.5	51.968
12	54.230	12	51.365
13-15	53.766	12.5	50.553
16	53.035	13	49.764
16.5	52.548	13.5	48.836
17	51.968	14	48.082
17.5	51.075	14.5	47.258
18	50.170	15	46.516
18.5	49.532	15.5	45.704
19	49.091	16	45.066
19.5	48.720	16.5	44.428
20-21	48.059	17	43.871
22-23	47.351	17.5	43.384
24-27	46.678	18-19	42.618
28-29	46.180	20-24	41.969
30-34	45.634	25-44	41.412
35-39	44.869	45-49	40.530
40-44	44.080	50-54	39.394
45-49	43.349	55-59	38.489
50-54	42.607	60-64	37.828
55-59	41.876	65-69	37.468
60-64	41.157		
65-69	43.368		

**Tabla 1.5 Valores de la resistencia en "clo" para los tipos más usuales de vestido.**

Fuente NTP 74.

TIPO DE VESTIDO	Clo
Desnudo	0
Ligero (atuendo de verano)	0.5
Medio (traje completo)	1.0
Pesado (traje de invierno)	1.5

### **Normativa**

En cuanto a condiciones térmicas se refiere dentro del invernadero, se hace necesaria la utilización de normativa específica ajena para la valoración de este riesgo, como puede ser el "Índice WBGT", establecido por la "American Conference of Governmental Industrial Hygienists" (ACGIH). Este índice se basa en la posibilidad de eliminación del calor corporal en función de las condiciones termo-higrométricas ambientales, y permite establecer el tiempo máximo de permanencia en un ambiente caluroso en función de parámetros tales como metabolismo basal y de trabajo, tipo de ropa utilizada, velocidad del aire y temperaturas seca, húmeda y de globo del ambiente (Marín 2013).

#### 1.4.4 CONCEPTOS TECNICOS

### **Psicrometría**

La psicrometría se define como "aquella rama de la física relacionada con la medición o determinación de las condiciones del aire atmosférico, particularmente respecto de la mezcla de aire seco y vapor de agua", o bien "aquella parte de la ciencia que está en cierta forma íntimamente ligada a las propiedades termodinámicas del aire húmedo". Las propiedades termodinámicas de la mezcla de aire seco y vapor de agua revisten gran interés en la etapa de postcosecha de productos agrícolas, por el efecto que tiene la humedad del aire atmosférico sobre el contenido de humedad de los productos (FAO 1991).

### **Entalpía de vaporización**

Se define como la energía necesaria para que una unidad de masa de una sustancia pase del estado líquido al estado gaseoso. Si se trata de productos biológicos, tales como los granos, se define como la cantidad de energía necesaria para evaporar una unidad de masa de agua contenida en el producto (FAO 1991).

### **Confort térmico**

La Eficiencia Energética es el conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos, lo cual se puede

lograr a través de la implementación de mejores hábitos de consumo e inversiones a nivel tecnológico. No es correcto referirse al confort térmico en términos absolutos ya que dependiendo de las condiciones de cada individuo y del trabajo realizado los valores serán distintos. Por este motivo los métodos relacionados tienen en cuenta estos aspectos y a nivel general solo ofrecen unos valores umbrales de referencia dentro de los cuales se estima que cabe esperar una situación confortable. (Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Agrícolas de Almeira 2006).

### **Metabolismo energético**

El metabolismo energético es la parte del metabolismo celular destinado a almacenar y consumir combustibles para cubrir las necesidades energéticas del organismo. (Meléndez. 2011).

### 1.5. Metodología

- Recolección de información con el fin de definir conceptos como: Sistemas de invernaderos, su implementación en Colombia en los diferentes cultivos, procesos y contexto internacional, estrés térmico de los trabajadores dentro de los invernaderos y otros conceptos relevantes para el desarrollo de la investigación.
- Identificación y localización del cultivo de quinua en la ciudad de Sogamoso – Colombia, para definir el emplazamiento donde se realizará la investigación, y realizar el análisis climatológico de la ciudad y el sector.
- Recolección y análisis de la información correspondiente, volúmenes de producción para establecer áreas, sistema de secado implementado para la quinua en el proceso de poscosecha y funciones de operatividad.
- Identificar las características del caso base, para realizar la simulación y análisis de los resultados de la tipología actual de implementación de invernadero en el proceso de secado de la quinua.
- Identificar las estrategias pasivas a implementar para mejorar las condiciones del caso base en la tipología de invernadero de secado de la quinua y analizar a través del desarrollo de estudio de simulación, los resultados.
- Definir los parámetros de diseño para el prototipo de invernadero según los resultados anteriores.

CAPITULO 2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	45
2.1 Identificación del cultivo de quinua .....	45
2.1.1 Localización.....	45
<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
2.1.2 Análisis climatológico de Sogamoso. ....	48
2.2 Datos de producción del cultivo de la Quinua .....	56
CAPITULO 3. CASO DE ESTUDIO.....	57
<b>3.1</b> Caso base – Sistema convencional implementado para el secado de granos en Colombia	57
3.1.1 Descripción. ....	57
3.1.2 Simulación. ....	65
3.1.3 Análisis de resultados comparativos entre casos.....	100
3.2 Caso mejorado.....	108
3.2.1 Estrategias pasivas a implementar.....	108
3.2.2 Simulación de casos.....	114
3.2.3 Analisis de resultados .....	137
CAPITULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	146
4.1 RESULTADOS COMPARATIVOS ENTRE CASO BASE Y CASO MEJORADO. ....	146
4.2 PARAMETROS DE DISEÑO.....	156
4.2.1 Parámetros. ....	157
4.2.2 Sistemas Pasivos.....	158
CAPITULO 5. CONCLUSIONES.....	160

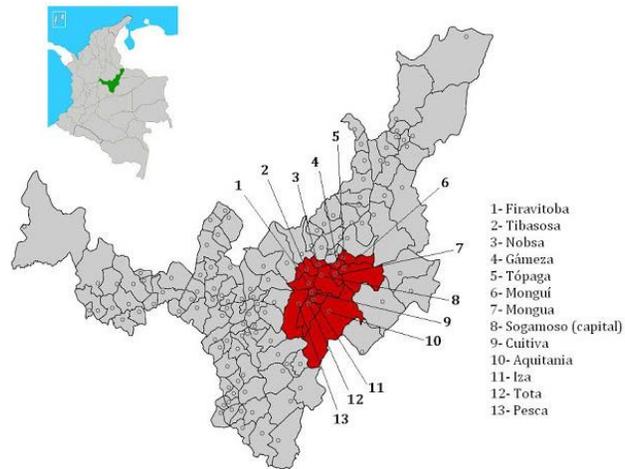
## CAPITULO 2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

### 2.1 Identificación del cultivo de quinua

En el departamento de Boyacá se encuentra la marca *QUINUA BOYACÁ*, la cual es una organización comunitaria perteneciente a *AGROSOLIDARIA FEDERACIÓN BOYACÁ*, esta marca se encuentra inscrita en el marco de la Agricultura Familiar Campesina y Comunitaria, donde se conserva tradiciones ancestrales en la economía como el convite, la minga, la manda, la mano prestada. Está conformada por familias cultivadoras de los municipios de: Soracá, Socotá y Tibasosa, Monguí, Tota, Gámeza pertenecientes a la provincia del Sugamuxi, siendo la capital Sogamoso motivo por el cual se selecciona como lugar donde se puede concentrar la infraestructura para la prestación del servicio de secado de la Quinua al resto de los municipios pertenecientes a la provincia, de la misma manera también existen cultivos de quinua en el municipio de Sogamoso.

#### 2.1.1 Localización

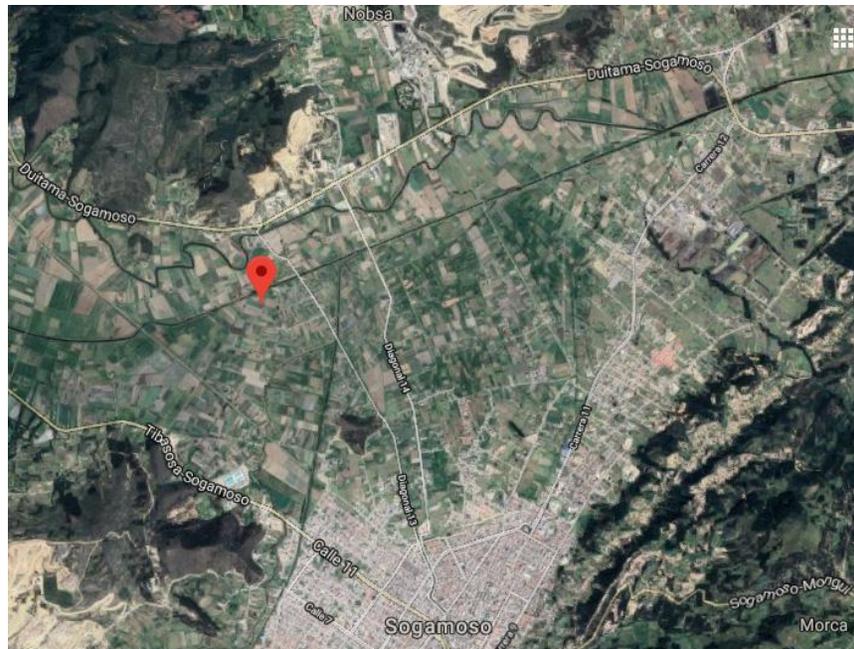
El municipio de Sogamoso se encuentra localizado en el centro oriente del departamento de Boyacá en la República de Colombia, a 228.5 km de Bogotá y 75.8 km de Tunja capital del departamento, dentro de la provincia de Sugamuxi como capital. Latitud 5° 42' 57" Norte y longitud 72° 55' 38" Oeste. Sogamoso tiene un área de superficie de extensión de 208.54 km<sup>2</sup>, en la zona urbana son 30.54 Km<sup>2</sup> y en la zona rural 178 km<sup>2</sup> una población de 111.799 habitante. La altitud de Sogamoso se encuentra dentro de los 2.400 y 4.000 msnm, la altitud del área urbana es de 2.569 msnm. El municipio se compone por la zona urbana y rural, la cual está dividida en las siguientes veredas: Vanegas, Pedregal, Primera Chorrera, Segunda Chorrera, Pilar y Ceibita, Mortiñal, Las Cintas, Siatame, La Manga, Morca, San José, La Ramada, Pantanitos, Ombachita, Monquirá, Villita y Malpaso, y Las Cañas.



**Figura 2.1 Localización Sogamoso.**

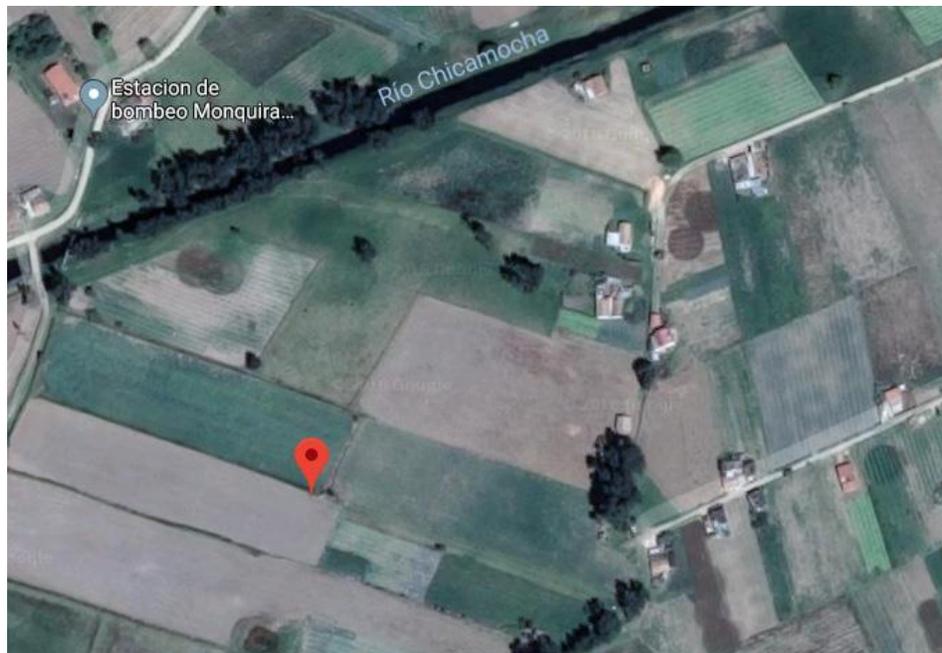
Fuente <http://ecosugamuxi.blogspot.com/p/mapa-de-sugamuxi.html>.

El cultivo de quinua existente se encuentra ubicado en el área rural en la vereda Siatame, latitud 5°44'33.2" Norte y longitud 72°56'45.6" Oeste, a 2.477 msnm.



**Figura 2.2 Localización cultivo dentro de Sogamoso.**

Fuente Tomada de aplicación Google Earth3.



**Figura 2.3 Localización cultivo en el entorno.**  
Fuente Tomada de aplicación Google Earth3.



**Figura 2.4 Cultivo de Quinoa en Sogamoso.**  
Fuente Propia.



**Figura 2.5 Cultivo de Quinoa en Sogamoso.**  
Fuente Propia.

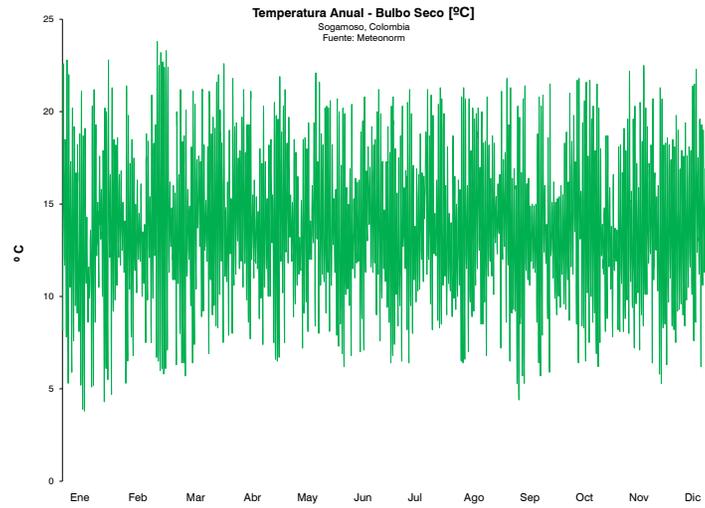
### 2.1.2 Análisis climatológico de Sogamoso.

Los datos climatológicos de Sogamoso fueron generados en el software meteonorm, donde se tomó información de las estaciones climáticas del aeropuerto el dorado de Bogotá y el aeropuerto de Rio Negro de Antioquia, arrojando el dato climático. Se verificó la información con otros datos climáticos de Sogamoso tomados de la página web de climate – data. De la misma manera se general los datos climáticos del emplazamiento del invernadero.

#### Temperatura

Febrero presenta la temperatura máxima con 23.8 °C y enero la mínima con 3.8 °C. En cuanto a la temperatura media se encuentra entre los 13.3 °C hasta 14.2 °C, siendo enero el mes con la mínima y mayo la máxima.

**Grafico 2.1 Temperatura de bulbo seco Sogamoso.**  
Fuente IES



**Tabla 2.1 Temperatura de bulbo seco Sogamoso.**  
Fuente IES.

Temperatura			
MES	Tº Máxima	Tº Mínima	Tº Media
Enero	22.8	3.8	13.3
Febrero	23.8	5.3	13.8
Marzo	22.6	5.7	13.9
Abril	21.8	6.5	13.9
Mayo	22.1	6.7	14.2
Junio	21.2	6.2	13.7
Julio	21.3	6.4	13.8
Agosto	21.3	6.4	13.7
Septiembre	21.8	4.4	13.4
Octubre	21.8	6.2	13.7
Noviembre	22.5	5.3	13.5
Diciembre	22.3	5.3	13.6
ANUAL	22.1	5.68	13.7

En el día más caluroso 22 de febrero la temperatura mínima es de 6.70°C a las 06:00 a.m. y la más alta a las 04:00 p.m. con 23.80°C. En el día más frío la temperatura mínima es de 3.80°C a las 06:00 a.m. y la más alta a las 03:00 p.m. con 19.10°C.

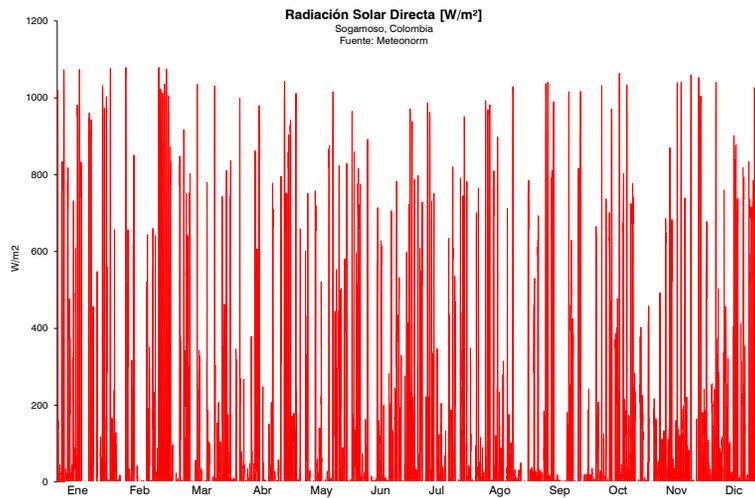
**Tabla 2.2 Temperatura día más caluroso y día más frío Sogamoso.**  
Fuente IES.

Temperatura				
DIA	Hora	Tº Mínima	Hora	Tº Máxima
Más caluroso 22 feb	06:00:00 a.m.	6.70	04:00:00 p.m.	23.80
Mas frio 13 ene	06:00:00 a.m.	3.80	03:00:00 p.m.	19.10

Radiación solar directa

El mes que recibe mayor radiación solar directa media es enero con 158.2 W/m<sup>2</sup>, y el mes que menos recibe es marzo con 81.0 W/m<sup>2</sup>. La máxima radiación se presenta en el mes de febrero con 1079,0 W/m<sup>2</sup>.

**Grafico 2.2 Radiación solar directa Sogamoso.**  
Fuente IES.



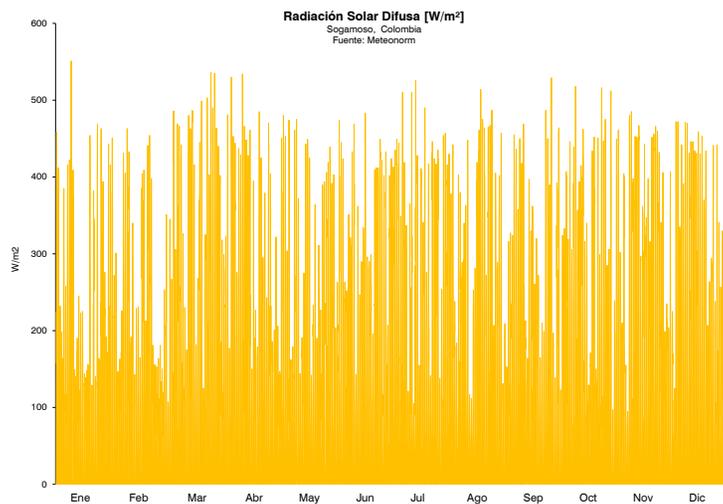
**Tabla 2.3 Radiación solar directa Sogamoso.**  
Fuente IES.

Radiación Solar Directa W/m <sup>2</sup>			
MES	Máxima	Mínima	Media
Enero	1077	0	158.2
Febrero	1079	0	146.6
Marzo	1035	0	81
Abril	1043	0	85.8
Mayo	1016	0	94.5
Junio	965	0	89
Julio	987	0	104.2
Agosto	1029	0	84.1
Septiembre	1041	0	110.2
Octubre	1064	0	106.8
Noviembre	1060	0	104.8
Diciembre	1040	0	119.8
ANUAL	1036.33	0	107.08

Radiación solar difusa

El mes donde se emite mayor radiación solar difusa media es diciembre con 108.0 W/m<sup>2</sup>, y el mes que menos recibe es febrero con 79.2 W/m<sup>2</sup>. La máxima radiación emitida se presenta en el mes de enero con 551.0 W/m<sup>2</sup>.

**Grafico 2.3 Radiación solar difusa Sogamoso.**  
Fuente IES.



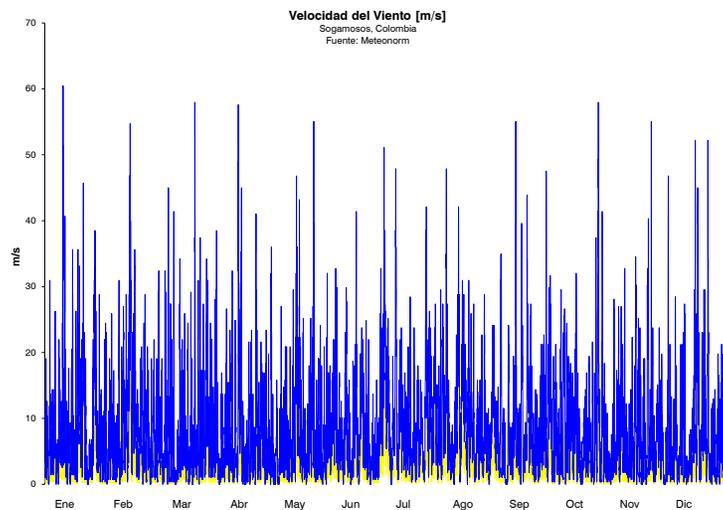
**Tabla 2.4 Radiación solar difusa Sogamoso.**  
Fuente IES.

Radiación Solar Difusa W/m <sup>2</sup>			
MES	Máxima	Mínima	Media
Enero	551	0	87.60
Febrero	463	0	79.20
Marzo	536	0	104.50
Abril	534	0	100.80
Mayo	480	0	94.00
Junio	483	0	95.70
Julio	526	0	98.60
Agosto	514	0	94.00
Septiembre	529	0	94.60
Octubre	518	0	103.20
Noviembre	485	0	99.40
Diciembre	528	0	108.00
ANUAL	512.25	0	96.63

Velocidad del viento

Los meses donde se presenta la mayor velocidad del viento son julio y agosto con 2.7 m/s, y los meses con la menor velocidad de viento son mayo y noviembre con 2.1 m/s.

**Grafico 2.4 Velocidad del viento anual m/s Sogamoso.**  
Fuente IES.



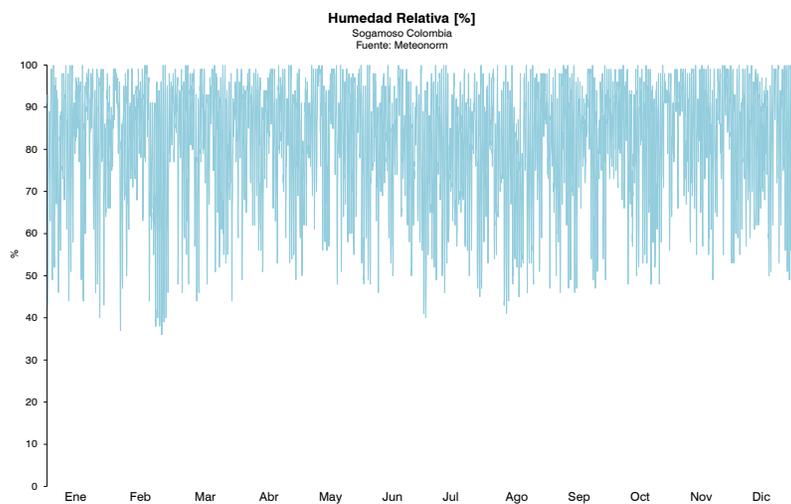
**Tabla 2.5 Velocidad del viento anual m/s Sogamoso.**  
Fuente IES.

Velocidad del Viento (m/s)			
MES	V Máxima	V Mínima	V Media
Enero	16.8	0	2.3
Febrero	15.2	0	2.4
Marzo	16.1	0	2.2
Abril	16	0	2.2
Mayo	15.3	0	2.1
Junio	14.2	0	2.5
Julio	13.3	0	2.7
Agosto	13.3	0	2.7
Septiembre	15.3	0	2.4
Octubre	16.1	0	2.2
Noviembre	15.3	0	2.1
Diciembre	14.5	0	2.2
ANUAL	15.11	0	2.33

Humedad relativa

El mes en el que se presenta la humedad relativa más alta es abril con el 83.9%, y el mes con la menor humedad es julio con el 77.3%. El porcentaje anual es de 81.49%.

**Grafico 2.5 Humedad relativa Sogamoso.**  
Fuente IES.



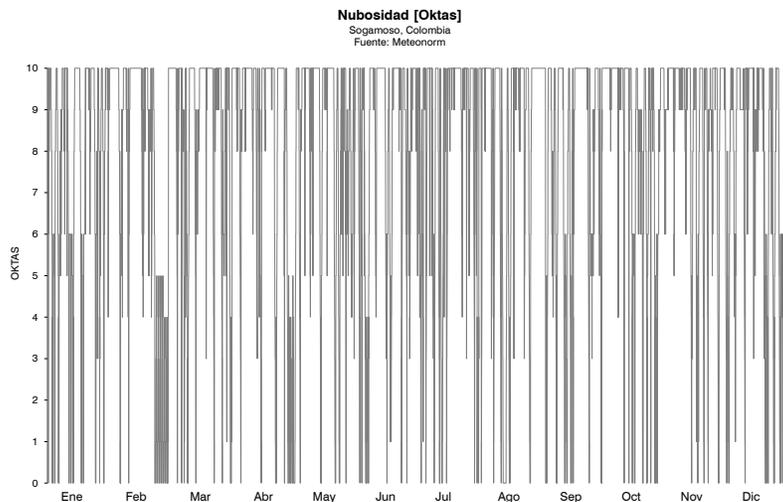
**Tabla 2.6 Humedad relativa Sogamoso.**  
Fuente IES.

Humedad Relativa (%)			
MES	% Máxima	% Mínima	% Media
Enero	100	40	80.6
Febrero	100	36	79.1
Marzo	100	44	81.8
<b>Abril</b>	<b>100</b>	<b>49</b>	<b>83.9</b>
Mayo	100	48	83
Junio	100	46	81.4
<b>Julio</b>	<b>100</b>	<b>40</b>	<b>77.3</b>
Agosto	100	41	78.3
Septiembre	100	46	80.7
Octubre	100	48	83
Noviembre	100	49	85.7
Diciembre	100	49	83.1
ANUAL	100	44.66	81.49

Nubosidad

El mes donde se encuentra la mayor nubosidad es marzo con 8.4 oktas, y el mes menos nublado es febrero con 7.3 oktas.

**Grafico 2.6 Nubosidad Sogamoso.**  
Fuente IES.



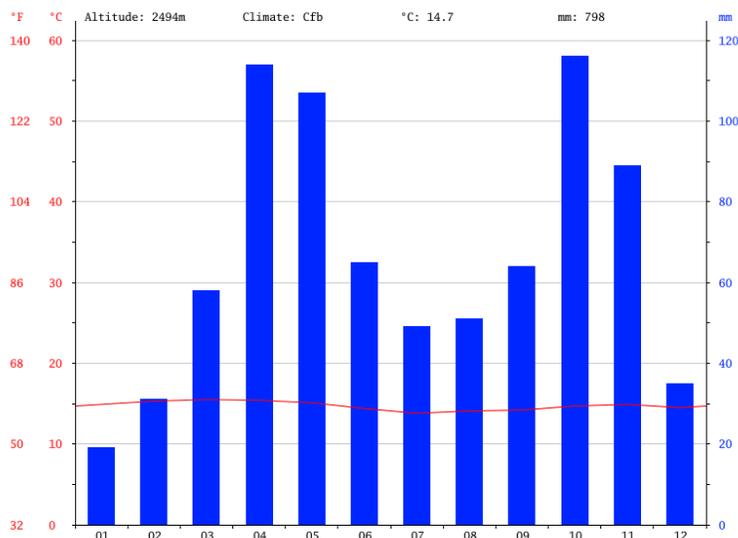
**Tabla 2.7 Nubosidad Sogamoso.**  
Fuente IES.

Nubosidad – Oktas			
	Máxima	Mínima	Media
Enero	10.0	0.0	7.5
Febrero	10.0	0.0	7.3
Marzo	10.0	0.0	8.4
Abril	10.0	0.0	8.2
Mayo	10.0	0.0	8.1
Junio	10.0	0.0	8.1
Julio	10.0	0.0	8.0
Agosto	10.0	0.0	8.3
Septiembre	10.0	0.0	7.7
Octubre	10.0	0.0	8.3
Noviembre	10.0	0.0	8.1
Diciembre	10.0	0.0	7.7

Precipitación

El mes con mayor precipitación es octubre con 116mm y la menor se encuentra en el mes de enero con 19mm.

**Grafico 2.7 Precipitación Sogamoso.**  
Fuente <https://es.climate-data.org/location/1034032>.



## 2.2 Datos de producción del cultivo de la Quinua

Los datos que se mencionan a continuación se recolectaron de información suministrada por cultivadores de quinua en Sogamoso, los cuales algunos pertenecen a asociaciones y otros son independientes, como son: Empresa COLQUINA S.A.S. Cultivos en Siachoque y Chivata – Boyacá (William Galindo), Catalina Marín y Francisco Orduz.

### 2.2.1 Volumen de producción.

En Colombia los cultivos de quinua se desarrollan en áreas correspondientes a 1 fanegada (6.400 m<sup>2</sup>) o 0.5 fanegada (3.200 m<sup>2</sup>), de la cual la producción es aproximadamente de 2.5 toneladas por fanegada.

### 2.2.2 Sistema de secado de la quinua en Colombia

Actualmente no existen en Colombia estándares de calidad en la etapa de poscosecha, por lo tanto los cultivadores realizan un solo proceso de secado ya sea de la panoja o del grano, y según la información recogida a los cultivadores para el secado de los granos utilizan 200 m<sup>2</sup> aproximadamente como área en silos o invernaderos, sin embargo implementando el otro método el cual es sobre polietileno expuesto al sol se utilizan para una (1) tonelada de grano 64m<sup>2</sup> aproximadamente en una sola fila. El tiempo que utilizan para secar las panojas y el grano es entre 7 a 15 días y la mejor temperatura de secado en Sogamoso es al medio día.

### 2.2.3 Operatividad dentro del proceso de secado de la Quinua

La operatividad en el proceso de secado la realiza una persona, proceso que consiste en la remoción constante del grano mientras se expone al secado ya que la quinua por el grado de humedad puede llegar a fermentarse. Este proceso debe realizarse un vez por hora, mínimo dos veces al día.

## CAPITULO 3. CASO DE ESTUDIO

### 3.1 Caso base – Sistema convencional implementado para el secado de granos en Colombia

#### 3.1.1 Descripción.

En Colombia se implementa para el secado de los granos de café y cacao invernaderos con ciertas características que los hace más eficientes para el proceso, con estructuras y cerramientos definidos y por supuesto con mayor control de las variables climática al interior de este. Para el secado de la quinua actualmente utilizan enramadas en madera cubiertas por polietileno, por tal motivo se plantea como caso base para el análisis de simulación uno de los prototipos de invernadero convencional para el secado del café y cacao, implementando las dimensiones según la producción de la quinua, realizando el análisis para la verificación del cumplimiento de los requisitos del proceso de secado de la quinua y el estrés térmico de los trabajadores al interior. Las características del invernadero (Caso base) se mencionan a continuación:

- El área que se definió para el invernadero es de  $220 \text{ m}^2$  ( $10 \text{ m} \times 22 \text{ m}$ ) correspondiente al área que ocupa la producción de 1 fanegada ( $6400 \text{ m}^2$ ) del cultivo de quinua, donde se requieren aproximadamente  $200 \text{ m}^2$  y se aumenta  $20 \text{ m}^2$  para la circulación interior.
- Se organizan tres filas de bandejas para el secado las dos laterales con un área de  $50 \text{ m}^2$  cada una y la central de  $60 \text{ m}^2$ , la cual se define según los datos que se han implementado por los cultivadores correspondiente a  $64 \text{ m}^2$  por tonelada, en este caso la producción es de 2.5 toneladas con un área requerida de  $160 \text{ m}^2$  que se dividen en las tres filas ya mencionadas. Las bandejas se instalarán a  $70 \text{ cm}$  de altura del nivel del piso.
- La altura de los laterales será  $1.50 \text{ m}$  y la cubierta tendrá una inclinación del  $25\%$ .
- Se implementará el invernadero tipo capilla con ventilaciones laterales inferiores, el caudal de ventilación de  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  por tonelada lo que corresponde  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  por las 2.5 toneladas de producción, cálculo realizado según la información referenciada en el secado de la quinua y que convencionalmente se implementa en el proceso ( $1/3 \text{ m}^3/\text{min.ton}$  o sea  $20 \text{ m}^3/\text{seg. Ton}$ ). El volumen del invernadero es de  $557.7 \text{ m}^3$ , y según estos datos en la tabla siguiente se calcula el área de abertura y el índice de renovación:

**Tabla 3.1** Calculo de áreas de abertura e índice de renovación caso base.

Fuente Propia.

Invernadero de secado (Caso Base)	Volumen de aire (m <sup>3</sup> )	Caudal de ventilación (Q - m <sup>3</sup> /s)	Velocidad del viento (m/s) Dato climático	Área de abertura (m <sup>2</sup> )	Índice de renovación (m <sup>3</sup> /h)
	557.7	50	2.3	21.74	323

- La estructura del invernadero de secado convencionalmente es en madera sin embargo se hace referencia únicamente a los datos de los materiales de la envolvente los cuales son:

**Tabla 3.2** Materiales envolvente invernadero caso base (Convencional).

Fuente Propia.

Materiales	Conductividad W/m <sup>2</sup> K
Placa de Concreto de 20 cm espesor	1.0460
Recubrimiento en polietileno Pe	0.5020

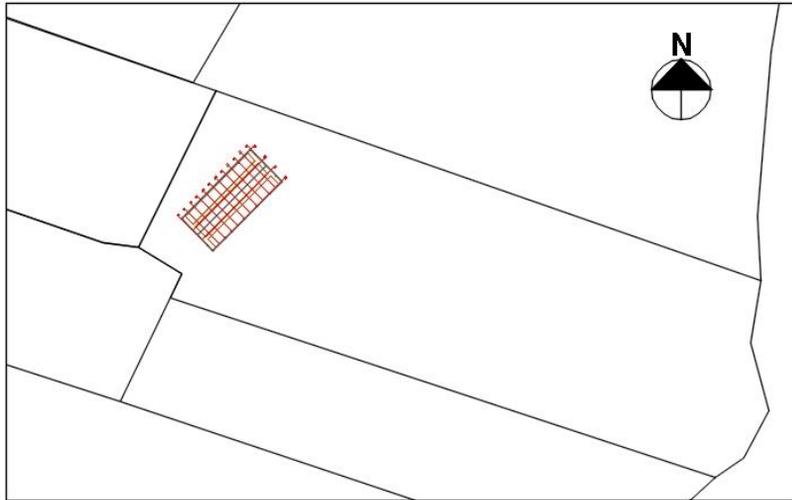


**Figura 3.1** Invernadero tipo capilla para secado de granos

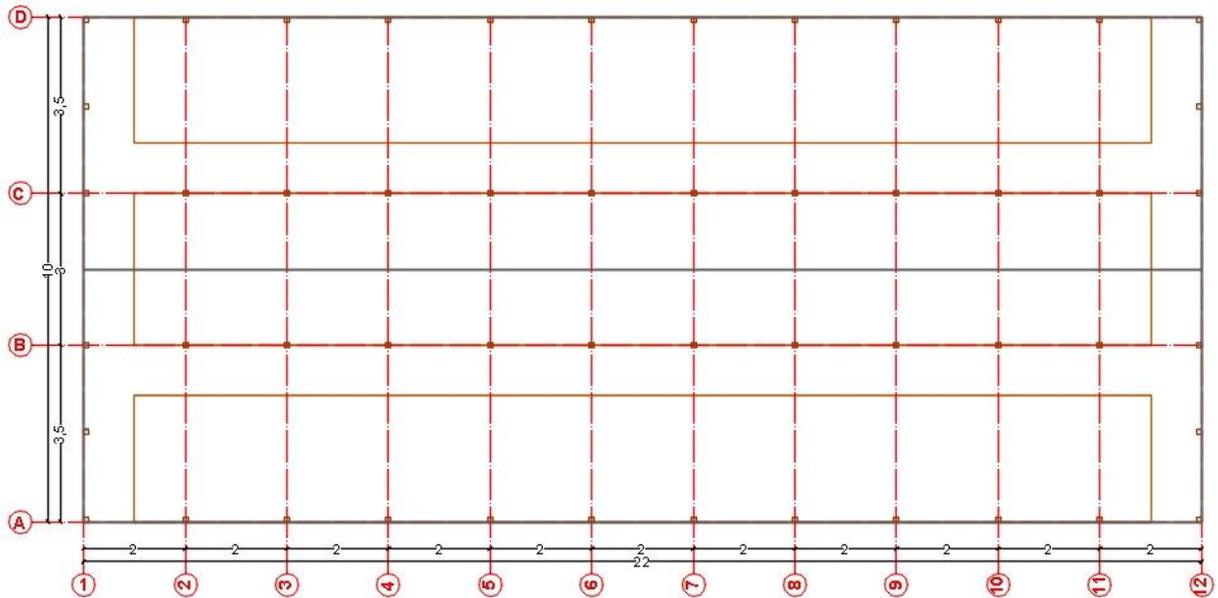
Fuente <https://www.eltiempo.com.do/produccion-de-cacao-genera-ingresos-superiores-a-los-rd700-millones-anuales-en-el-seibo/>

**Planimetría.**

A continuación, se presenta la planimetría la cual corresponde a localización del invernadero dentro del terreno de emplazamiento, planta arquitectónica y fachadas donde se referencia las dimensiones de este, e imagen en modelo computacional en 3 dimensiones.



**Figura 3.2 Localización del invernadero dentro del emplazamiento caso base.**  
Fuente: Propia



**Figura 3.3 Planta arquitectónica del invernadero caso base.**  
Fuente: Propia

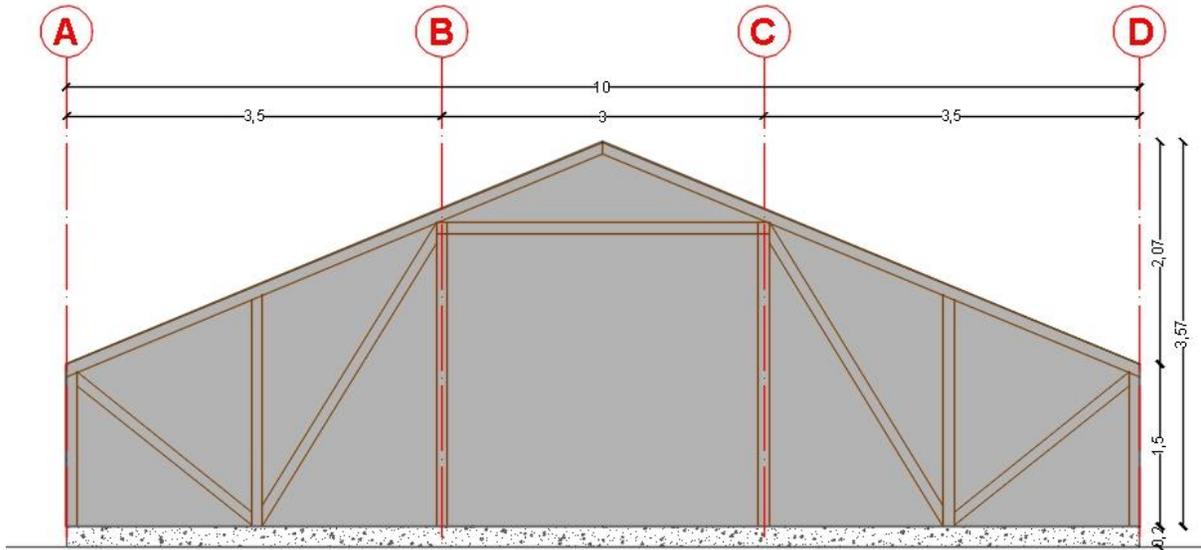


Figura 3.4 Fachada norte y sur caso base.  
Fuente: Propia.

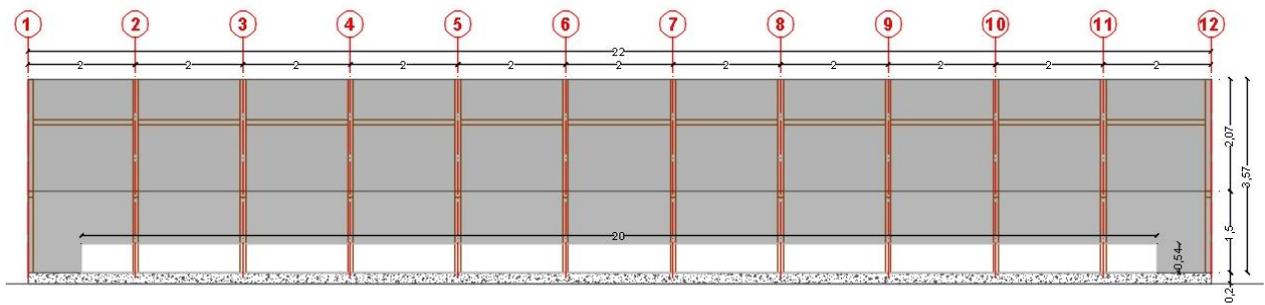


Figura 3.5 Fachada este y oeste caso base.  
Fuente: Propia

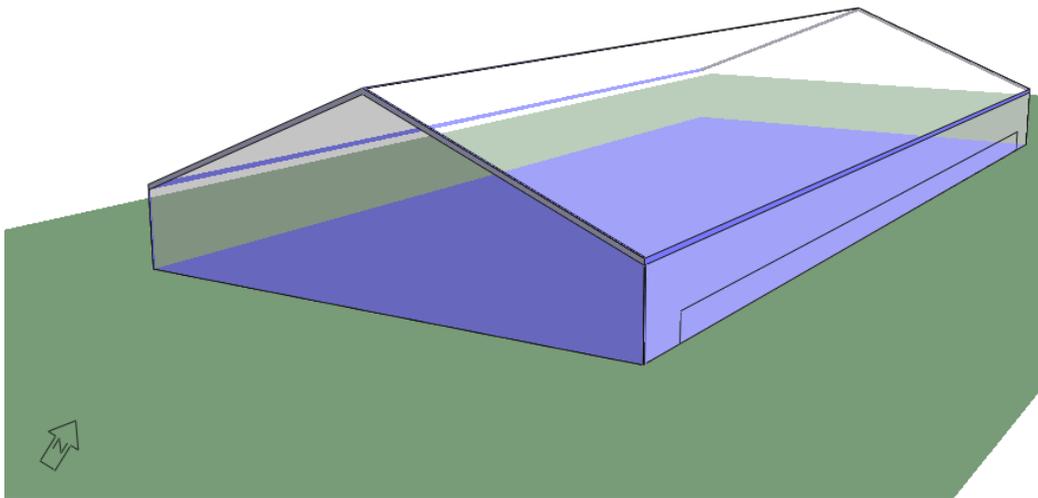
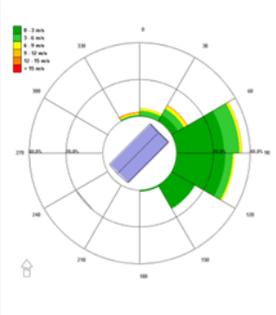
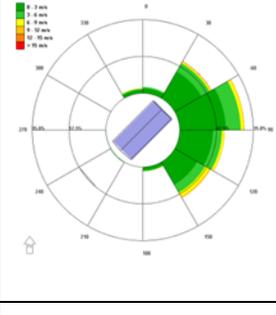
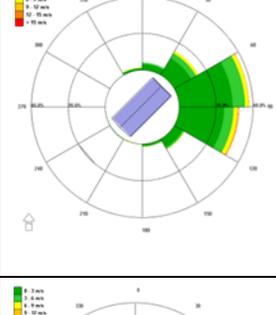
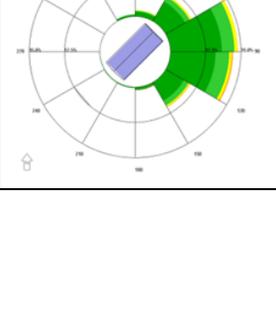


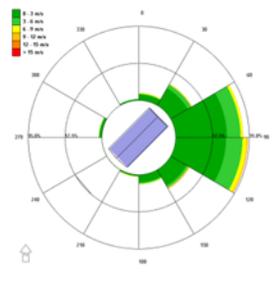
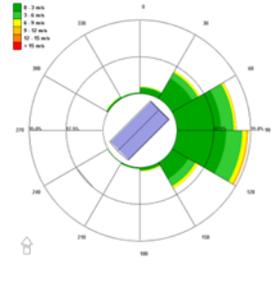
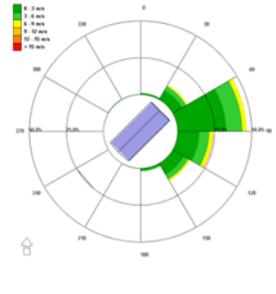
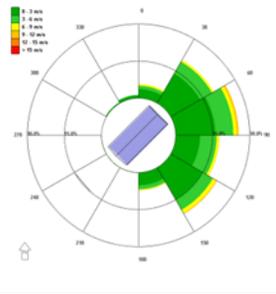
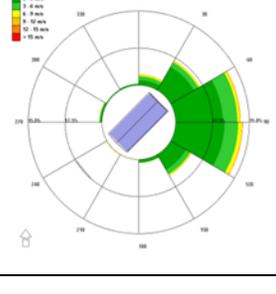
Figura 3.6 Vista en 3D caso base.  
Fuente: Propia

**Dirección y clasificación de los vientos mensuales sobre el invernadero.**

Los vientos predominantes dentro del emplazamiento están en dirección noreste (NE) y suroeste (SE).

**Tabla 3.3 Velocidad y clasificación de los vientos mensuales emplazamiento caso base.**  
Fuente IES.

GRAFICA	FACHADA	NORTE		ORIENTE		SUR		PONIENTE		% MES
	MES	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	
		%	%	%	%	%	%	%	%	
	<b>ENERO</b>	<b>4.00</b>	<b>7.00</b>	<b>12.00</b>	<b>35.00</b>	<b>30.00</b>	<b>1.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>89.00</b>
	Brisa ligera 0-3 m/s.			4.00	24.00	24.00	1.00			<b>53.00</b>
	Brisa suave 3-6 m/s.	1.00	4.00	4.00	8.00	4.00				<b>21.00</b>
	Brisa moderada 6-9 m/s.	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00				<b>9.00</b>
	Brisa fresca 9-12 m/s.	1.00	1.00	1.00	1.00					<b>4.00</b>
	Brisa fuerte 12-15 m/s.			1.00						<b>1.00</b>
	Viento moderado >15 m/s.	1.00								<b>1.00</b>
	<b>FEBRERO</b>	<b>5.00</b>	<b>6.00</b>	<b>22.00</b>	<b>31.00</b>	<b>23.00</b>	<b>3.50</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>90.50</b>
	Brisa ligera 0-3 m/s.	3.00	4.00	15.00	20.00	16.00	2.50			<b>60.50</b>
	Brisa suave 3-6 m/s.	1.00	2.00	4.00	8.00	4.00	1.00			<b>20.00</b>
	Brisa moderada 6-9 m/s.	0.50		2.00	2.00	2.00				<b>6.50</b>
	Brisa fresca 9-12 m/s.	0.50			1.00	1.00				<b>2.50</b>
	Brisa fuerte 12-15 m/s.									<b>0.00</b>
	Viento moderado >15 m/s.			1.00						<b>1.00</b>
	<b>MARZO</b>	<b>1.50</b>	<b>4.50</b>	<b>15.50</b>	<b>37.50</b>	<b>34.00</b>	<b>2.50</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>95.50</b>
	Brisa ligera 0-3 m/s.	1.00	3.00	10.00	28.00	24.00	1.00			<b>67.00</b>
	Brisa suave 3-6 m/s.		1.50	3.00	6.00	5.00	1.00			<b>16.50</b>
	Brisa moderada 6-9 m/s.	0.50		2.00	3.00	3.00				<b>8.50</b>
	Brisa fresca 9-12 m/s.			0.50	0.50	1.00				<b>2.00</b>
	Brisa fuerte 12-15 m/s.									<b>0.00</b>
	Viento moderado >15 m/s.					1.00	0.50			<b>1.50</b>
	<b>ABRIL</b>	<b>2.00</b>	<b>5.50</b>	<b>15.50</b>	<b>33.50</b>	<b>31.00</b>	<b>3.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>90.50</b>
	Brisa ligera 0-3 m/s.	1.00	4.00	11.00	23.00	20.00	2.00			<b>61.00</b>
	Brisa suave 3-6 m/s.	1.00	1.00	3.00	8.00	8.00	0.50			<b>21.50</b>
	Brisa moderada 6-9 m/s.		0.50	1.00	2.00	2.00				<b>5.50</b>
	Brisa fresca 9-12 m/s.			0.50	0.50	0.50				<b>1.50</b>
	Brisa fuerte 12-15 m/s.					0.50				<b>0.50</b>

	Viento moderado >15 m/s.						0.50			<b>0.50</b>
	<b>MAYO</b>	<b>2.00</b>	<b>6.00</b>	<b>13.00</b>	<b>33.00</b>	<b>34.50</b>	<b>5.50</b>	<b>0.00</b>	<b>1.50</b>	<b>95.50</b>
	Brisa ligera 0-3 m/s.	1.00	4.00	10.00	23.00	22.00	4.00		1.50	<b>65.50</b>
	Brisa suave 3-6 m/s.	1.00	1.00	2.00	8.00	9.00	1.00			<b>22.00</b>
	Brisa moderada 6-9 m/s.		1.00	0.50	1.50	2.50	0.50			<b>6.00</b>
	Brisa fresca 9-12 m/s.			0.50	0.50	0.50				<b>1.50</b>
	Brisa fuerte 12-15 m/s.					0.50				<b>0.50</b>
	Viento moderado >15 m/s.									<b>0.00</b>
	<b>JUNIO</b>	<b>2.00</b>	<b>6.00</b>	<b>29.50</b>	<b>34.00</b>	<b>15.50</b>	<b>2.50</b>	<b>0.50</b>	<b>0.00</b>	<b>90.00</b>
	Brisa ligera 0-3 m/s.	1.00	4.00	21.00	23.00	9.00	1.00	0.50		<b>59.50</b>
	Brisa suave 3-6 m/s.	1.00	1.00	7.00	7.00	4.00	0.50			<b>20.50</b>
	Brisa moderada 6-9 m/s.		1.00	1.00	2.50	2.00	0.50			<b>7.00</b>
	Brisa fresca 9-12 m/s.			0.50	1.00	0.50	0.50			<b>2.50</b>
	Brisa fuerte 12-15 m/s.				0.50					<b>0.50</b>
	Viento moderado >15 m/s.									<b>0.00</b>
	<b>JULIO</b>	<b>1.00</b>	<b>2.00</b>	<b>11.50</b>	<b>47.00</b>	<b>24.00</b>	<b>3.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>88.50</b>
	Brisa ligera 0-3 m/s.	1.00	2.00	7.00	33.00	15.00	2.00			<b>60.00</b>
	Brisa suave 3-6 m/s.			3.00	11.00	6.00	1.00			<b>21.00</b>
	Brisa moderada 6-9 m/s.			1.00	2.00	2.00				<b>5.00</b>
	Brisa fresca 9-12 m/s.			0.50	1.00	1.00				<b>2.50</b>
	Brisa fuerte 12-15 m/s.									<b>0.00</b>
	Viento moderado >15 m/s.									<b>0.00</b>
	<b>AGOSTO</b>	<b>2.00</b>	<b>6.00</b>	<b>20.00</b>	<b>26.50</b>	<b>23.00</b>	<b>8.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>85.50</b>
	Brisa ligera 0-3 m/s.	1.50	3.00	14.00	16.00	15.00	5.00			<b>54.50</b>
	Brisa suave 3-6 m/s.	0.50	2.00	5.00	7.00	5.00	2.00			<b>21.50</b>
	Brisa moderada 6-9 m/s.		1.00	1.00	2.00	2.50	0.50			<b>7.00</b>
	Brisa fresca 9-12 m/s.				1.50	0.50	0.50			<b>2.50</b>
	Brisa fuerte 12-15 m/s.									<b>0.00</b>
	Viento moderado >15 m/s.									<b>0.00</b>
	<b>SEPTIEMBRE</b>	<b>1.00</b>	<b>6.50</b>	<b>15.50</b>	<b>30.00</b>	<b>31.50</b>	<b>2.50</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>87.00</b>
	Brisa ligera 0-3 m/s.	1.00	3.00	12.00	20.00	20.50	2.00			<b>58.50</b>
	Brisa suave 3-6 m/s.		2.00	2.00	8.00	8.00	0.50			<b>20.50</b>
	Brisa moderada 6-9 m/s.		1.00	1.00	1.00	2.00				<b>5.00</b>
	Brisa fresca 9-12 m/s.		0.50	0.50	0.50	0.50				<b>2.00</b>
	Brisa fuerte 12-15 m/s.				0.50					<b>0.50</b>
	Viento moderado >15 m/s.					0.50				<b>0.50</b>

	m/s.									
	<b>OCTUBRE</b>	<b>2.50</b>	<b>4.00</b>	<b>6.00</b>	<b>31.00</b>	<b>30.50</b>	<b>7.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>81.00</b>
	Brisa ligera 0-3 m/s.	2.00	3.00	4.00	23.00	24.00	4.00			60.00
	Brisa suave 3-6 m/s.			1.00	6.00	5.00	1.00			13.00
	Brisa moderada 6-9 m/s.	0.25	0.50	0.50	1.00	1.00	2.00			5.25
	Brisa fresca 9-12 m/s.	0.25	0.50		0.50	0.50				1.75
	Brisa fuerte 12-15 m/s.				0.50					0.50
	Viento moderado >15 m/s.			0.50						0.50
	<b>NOVIEMBRE</b>	<b>3.00</b>	<b>8.50</b>	<b>14.50</b>	<b>35.00</b>	<b>25.00</b>	<b>2.50</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>88.50</b>
	Brisa ligera 0-3 m/s.	1.50	6.00	10.00	24.00	18.00	2.00			61.50
	Brisa suave 3-6 m/s.	1.00	2.00	3.00	8.00	4.00	0.50			18.50
	Brisa moderada 6-9 m/s.	0.25	0.25	1.00	2.00	2.00				5.50
	Brisa fresca 9-12 m/s.	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50				2.00
	Brisa fuerte 12-15 m/s.					0.50				0.50
	Viento moderado >15 m/s.				0.50					0.50
	<b>DICIEMBRE</b>	<b>1.50</b>	<b>3.50</b>	<b>10.50</b>	<b>35.25</b>	<b>30.00</b>	<b>4.50</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>85.25</b>
	Brisa ligera 0-3 m/s.	0.50	3.00	7.00	30.00	23.00	3.00			66.50
	Brisa suave 3-6 m/s.	0.50		3.00	4.00	5.00	1.00			13.50
	Brisa moderada 6-9 m/s.	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	0.50			4.00
	Brisa fresca 9-12 m/s.				0.25	0.50				0.75
	Brisa fuerte 12-15 m/s.					0.50				0.50
	Viento moderado >15 m/s.									0.00

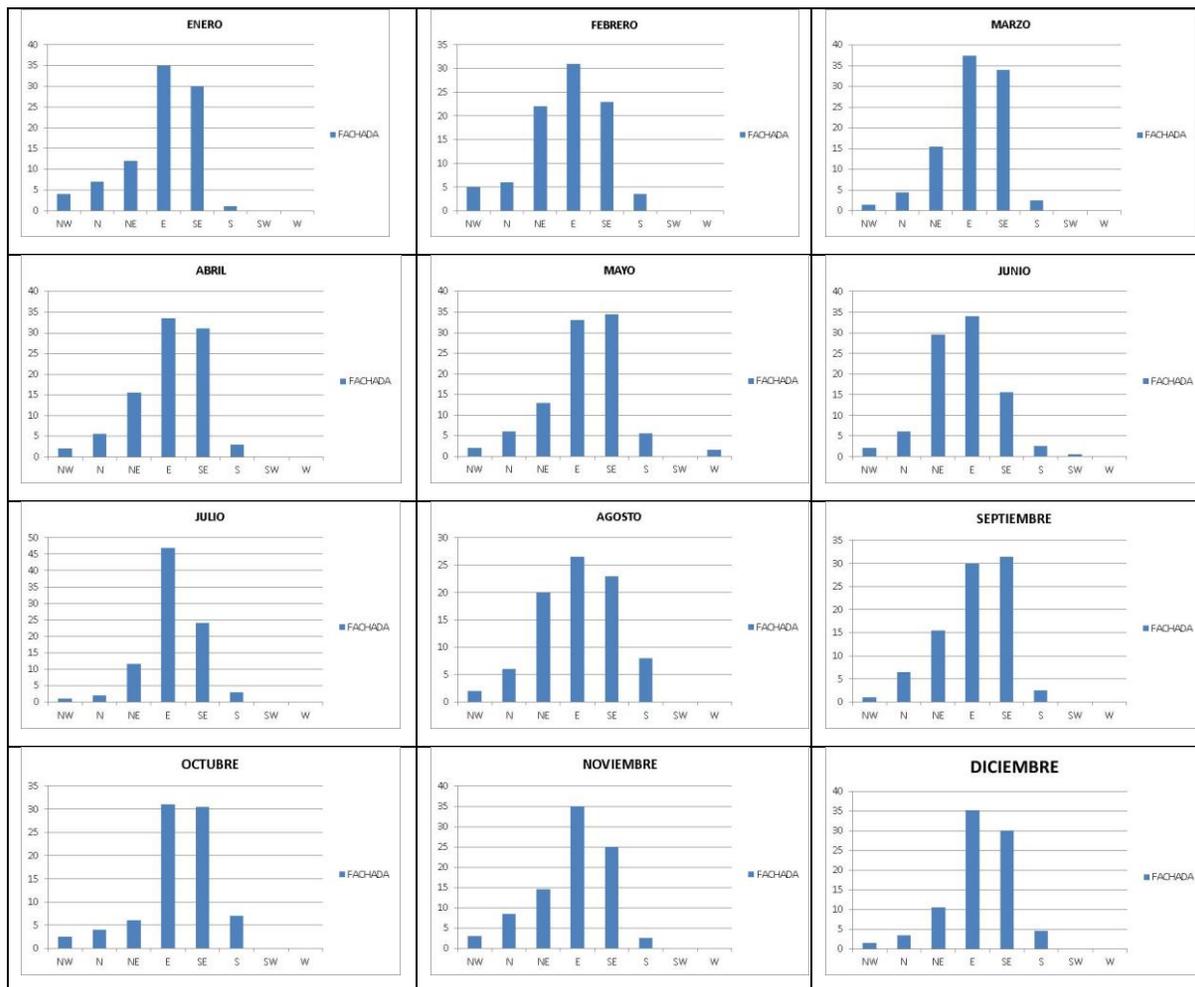
Según los datos analizados de la tabla anterior se ordenan los meses desde el mayor porcentaje de frecuencia de vientos al menor:

- Marzo porcentaje total 95.50%, dentro de este el mayor es 67.00% corresponde a brisa ligera 0-3 m/s.
- Mayo porcentaje total 95.50%, dentro de este el mayor es 65.50% de brisa ligera de 0-3 m/s.
- Febrero porcentaje total 90.50%, dentro de este el mayor es 60.50% de brisa ligera de 0-3 m/s.
- Abril porcentaje tota 90.50%, dentro de este el mayor es 61.00% de brisa ligera de 0-3 m/s.

- e. *Junio* porcentaje total 90.00%, dentro de este el mayor es 59.50% de brisa ligera de 0-3 m/s.
- f. *Enero* porcentaje total 89.00%, dentro de este el mayor es 53.00% de brisa ligera de 0-3 m/s.
- g. *Julio* porcentaje total 88.50%, dentro de este el mayor es 60.00% de brisa ligera de 0-3 m/s.
- h. *Noviembre* porcentaje total 88.50%, dentro de este el mayor es 61.50% de brisa ligera de 0-3 m/s.
- i. *Septiembre* porcentaje total 87.00%, dentro de este el mayor es 58.50% de brisa ligera de 0-3 m/s.
- j. *Agosto* porcentaje total 85.50%, dentro de este el mayor es 54.50% de brisa ligera de 0-3 m/s.
- k. *Diciembre* porcentaje total 85.25%, dentro de este el mayor es 66.50% de brisa ligera de 0-3 m/s.
- l. *Octubre* porcentaje total 81.00%, dentro de este el mayor es 60.00% de brisa ligera de 0-3 m/s.

Se puede definir que el invernadero según su ubicación presenta afectación de brisa ligera durante todo el año, con mayor porcentaje entre 95.50% y 90.00% en los meses de marzo, mayo, febrero, abril, junio. En los otros meses se encuentre entre 89.00% y 81.00%.

**Grafico 3.1 Vientos predominantes sobre fachadas caso base.**  
Fuente IES.



En cuanto a las fachadas en las anteriores graficas se puede evidenciar que las de mayor porcentaje son: La nor-este, este y sur-este, con el 10% al 35%.

### 3.1.2 Simulación.

Se realizan 3 simulaciones del caso base para analizar el funcionamiento de la ventilación (% de funcionamiento de las aberturas), la favorabilidad de la orientación inicial, y el horario de funcionamiento de las aberturas, debido a que la tasa de secado del invernadero depende de la capacidad del aire para evaporar la humedad relativa, la cual es determinada por las condiciones psicométricas del aire (Temperatura y humedad relativa). Por tal motivo se analiza las variables en el interior del invernadero caso base: temperatura, ganancias solares, humedad relativa con el fin

de evaluar el cálculo de las áreas de abertura anteriormente realizado y el índice de renovación del aire, también se analiza el índice de confort el cual nos permitirá tomar datos referentes al estrés térmico de los trabajadores. La herramienta que se utiliza para la simulación es IES Virtual Environment.

A. Caso 1

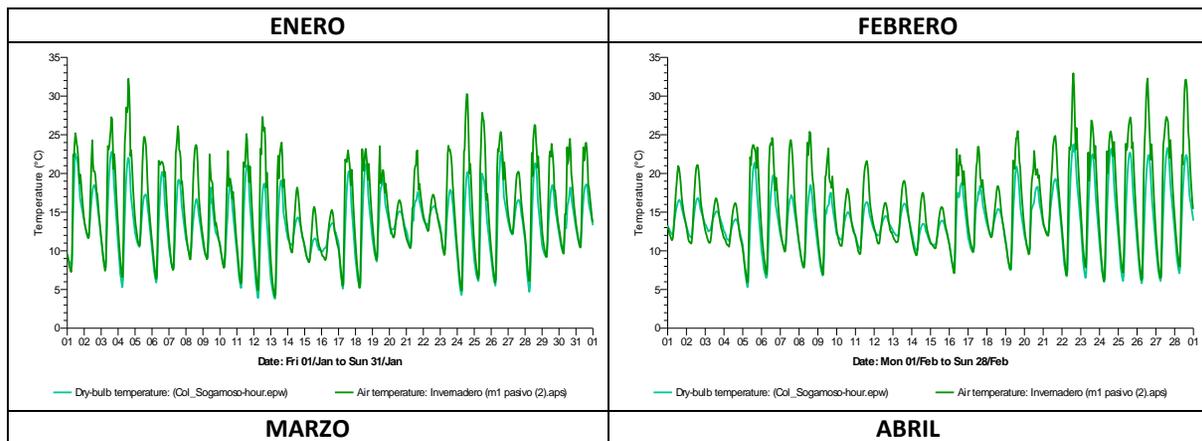
La primera simulación del caso base se realiza bajo las características morfológicas y de materiales ya definidas anteriormente, el 100% de funcionamiento de las áreas de abertura calculadas para la renovación del aire, se establece un horario de ocupación laboral de lunes a domingo desde las 8.00 a la 18:00, de la misma manera el horario de funcionamiento de las aberturas.

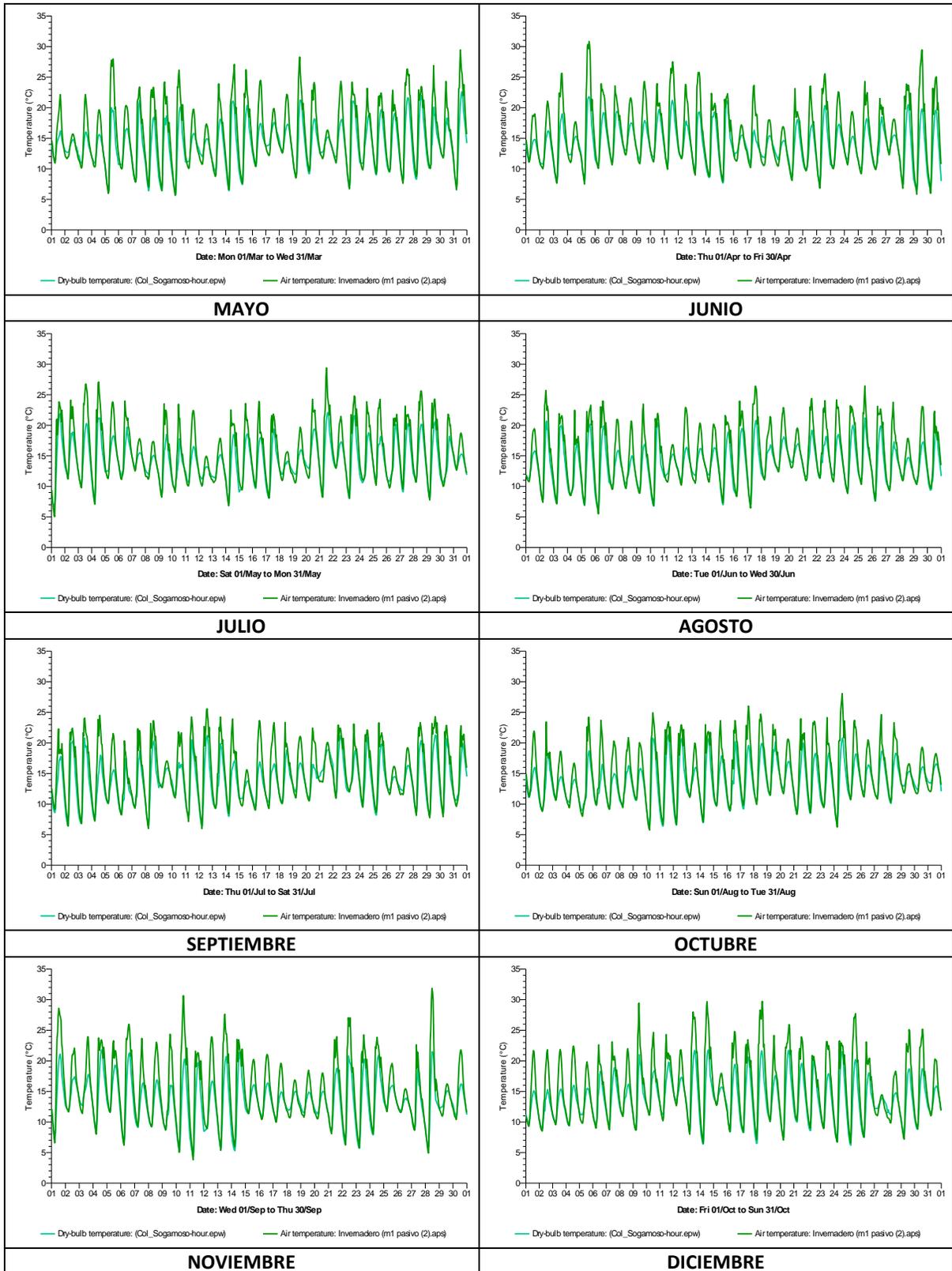
*Temperatura*

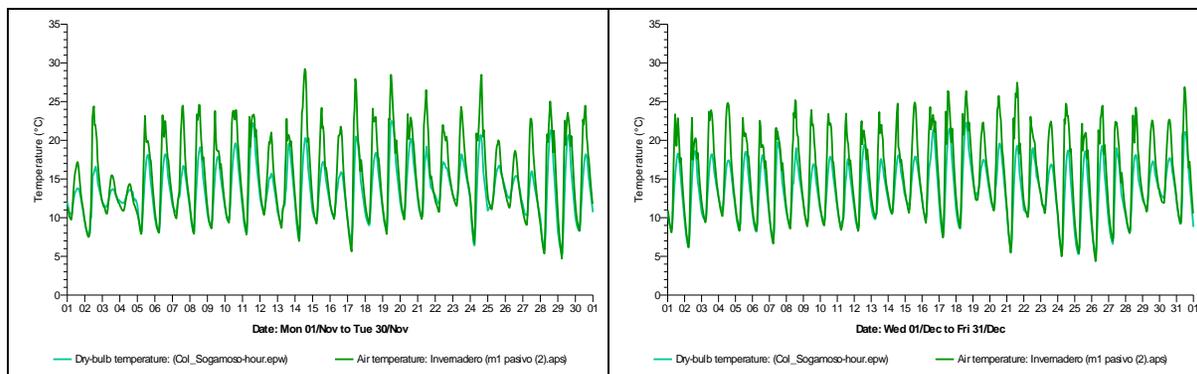
El mes que presenta la temperatura media más alta al interior del invernadero en febrero con 15.82 °C y agosto la más baja con 15.40°C. El día que se presenta la mayor temperatura al interior es el 22 de febrero a las 14:30 horas con 32.95°C y en el exterior 23.7°C. El día con la temperatura más baja interior es el 11 de septiembre a las 05:30 horas con 3.8°C teniendo en el exterior 4.6°C.

**Grafico 3.2 Temperatura interior mensual caso base – caso 1.**

Fuente: Propia







**Tabla 3.4 Temperatura interior anual caso base - caso 1.**

Fuente: Propia.

Temperatura Invernadero (m1 pasivo)			
MES	Tº Máxima	Tº Mínima	Tº Media
Enero	32.24	4.07	15.56
<b>Febrero</b>	<b>32.95</b>	<b>5.93</b>	<b>15.82</b>
Marzo	29.44	5.65	15.77
Abril	30.83	5.82	15.79
Mayo	29.4	5.05	15.8
Junio	26.43	5.5	15.43
Julio	25.59	5.99	15.48
Agosto	28.08	5.74	15.4
Septiembre	31.86	3.8	15.45
Octubre	29.74	6.55	15.79
Noviembre	29.21	4.72	15.42
Diciembre	27.46	4.36	15.78
ANUAL	29.43	5.26	15.62

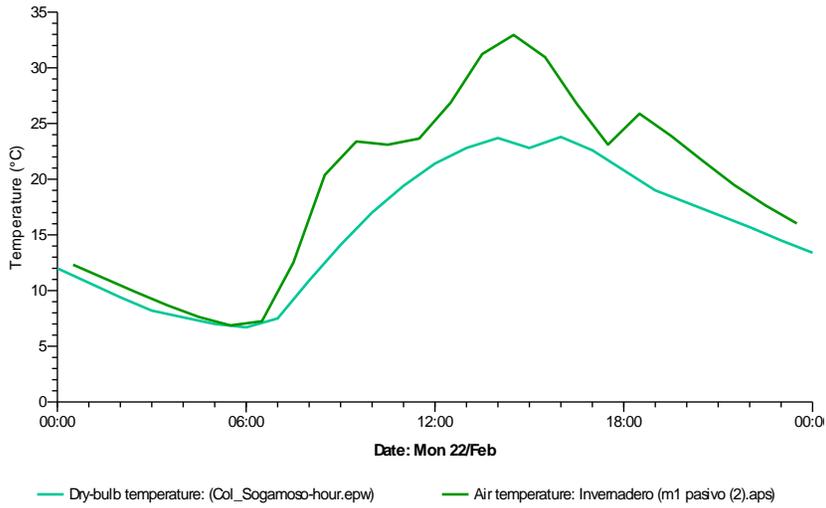
**Tabla 3.5 Día con la temperatura más alta caso base – caso 1.**

Fuente: Propia.

Día con la temperatura más alta				
	Peak Date	Peak Time	Dry-bulb temperature (°C)	Air temperature (°C)
Invernadero	22-feb	14:30	23.7	32.95

**Gráfico 3.3 Día con la temperatura más alta caso base – caso 1.**

Fuente: Propia



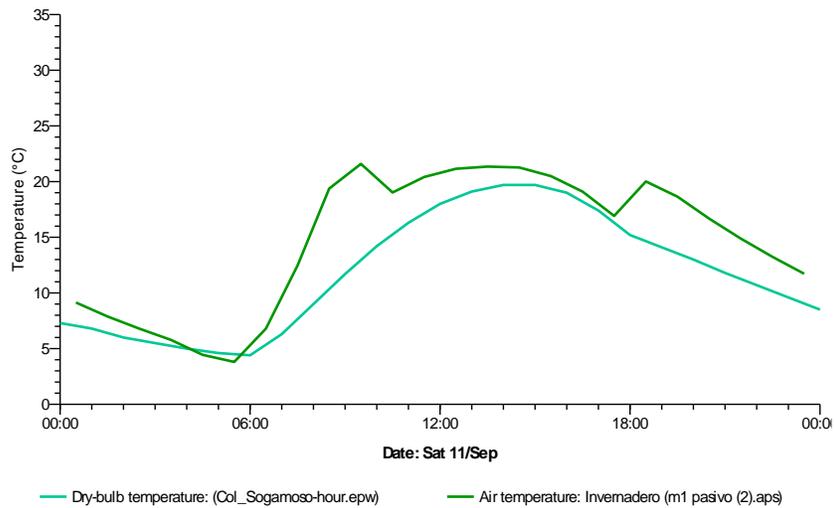
**Tabla 3.6 Día con la temperatura más baja caso base – caso 1.**

Fuente: Propia

Día con la temperatura más baja				
	Peak Date	Peak Time	Dry-bulb temperature (°C)	Air temperature (°C)
Invernadero	11-sep	05:30	4.6	3.8

**Gráfico 3.4 Día con la temperatura más baja caso base – caso 1.**

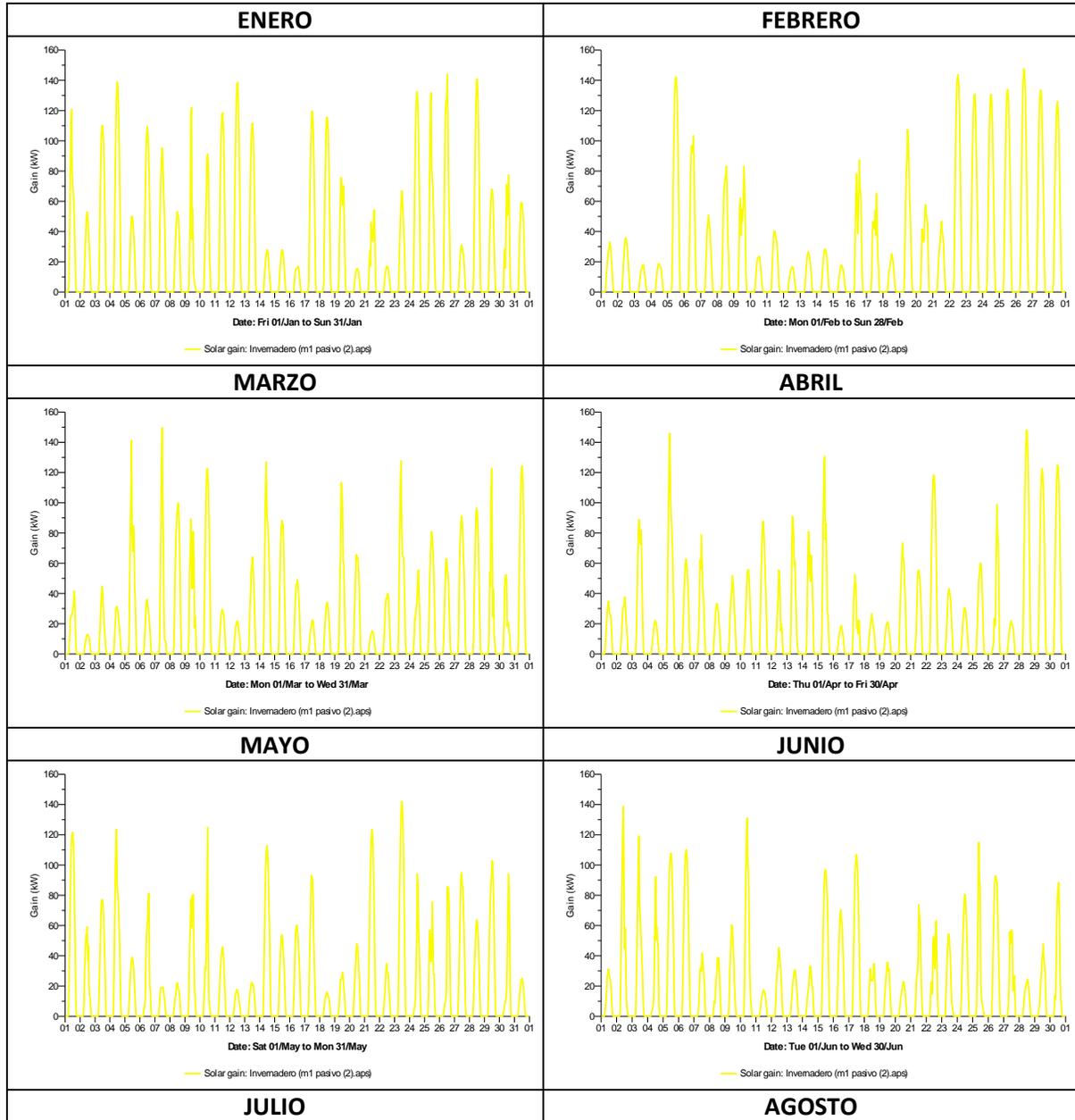
Fuente: Propia

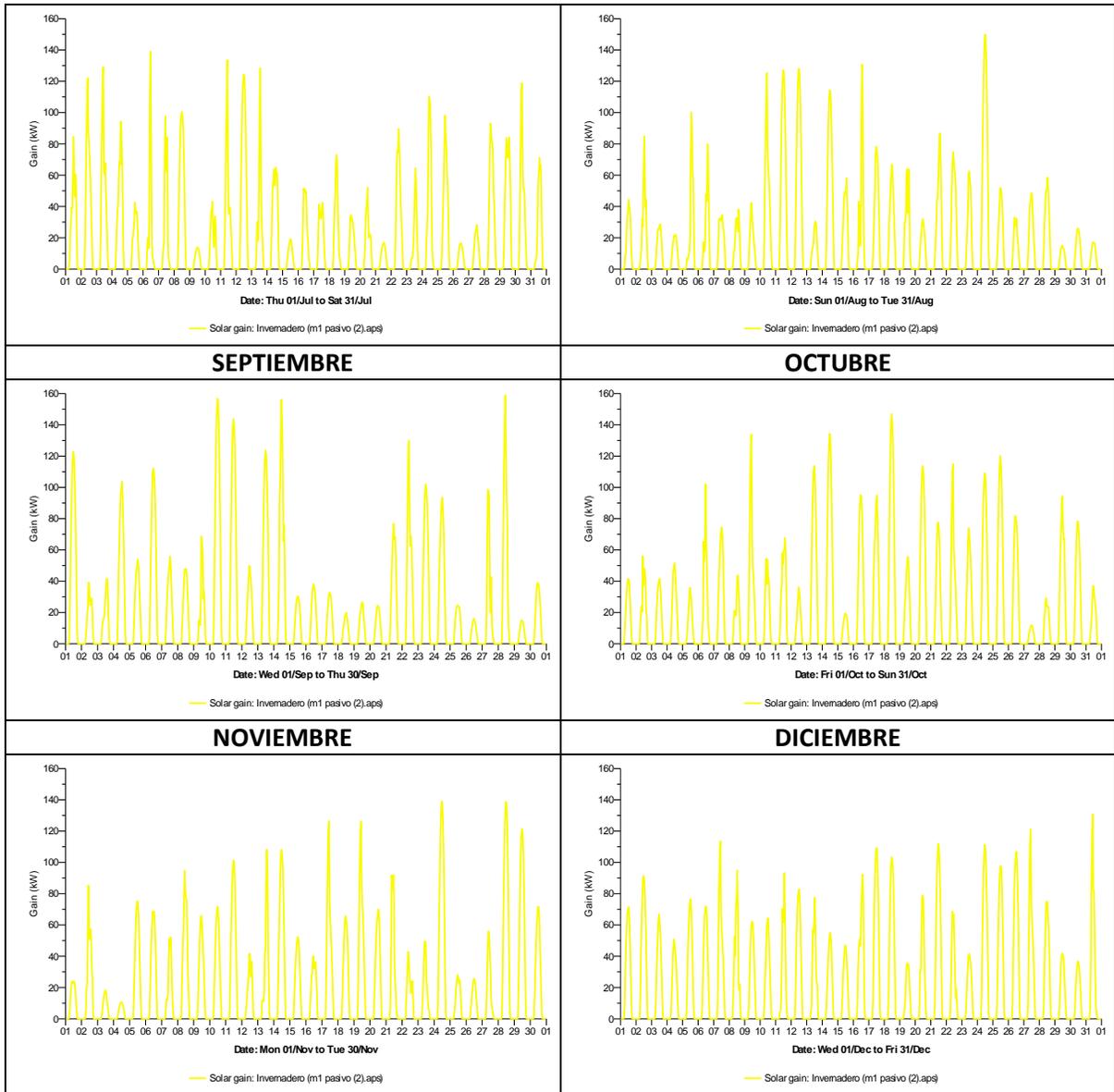


Ganancia solar

El mes donde se presenta la mayor ganancia solar media es enero con 24.07 KW, y el mes donde se presenta la menor es agosto con 18.31 KW.

Grafico 3.5 Ganancias solares mensuales caso base – caso 1.  
Fuente: Propia





**Tabla 3.7 Ganancias solares anuales caso base – caso 1.**

Fuente: Propia

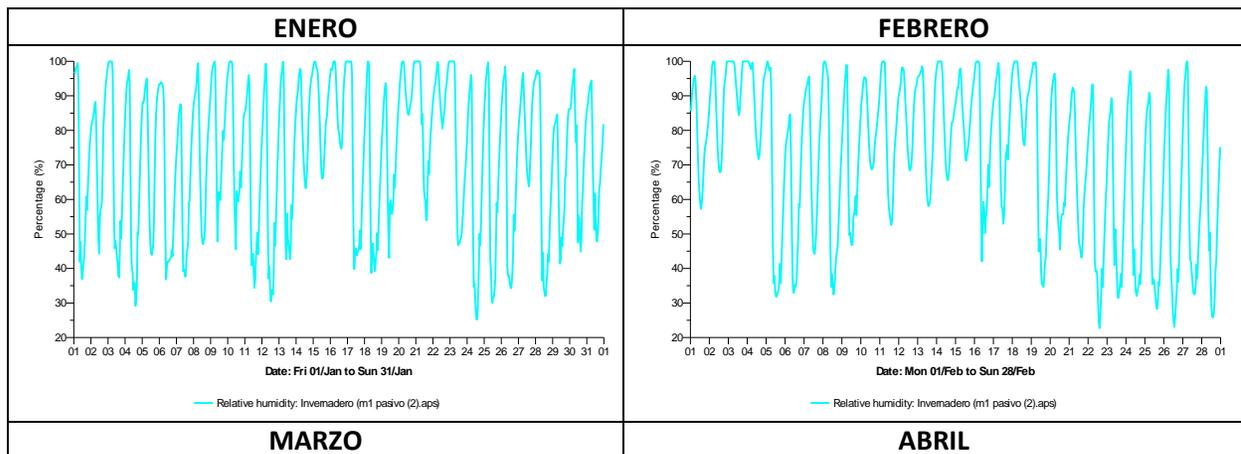
Ganancias solares Invernadero (m1 pasivo)	
MES	(KW) media
Enero	24.07
Febrero	22.09
Marzo	19.85
Abril	19.60
Mayo	19.48
Junio	18.71
Julio	19.96
Agosto	18.31
Septiembre	21.27
Octubre	21.62
Noviembre	20.32
Diciembre	22.30
ANUAL	20.63

*Humedad relativa*

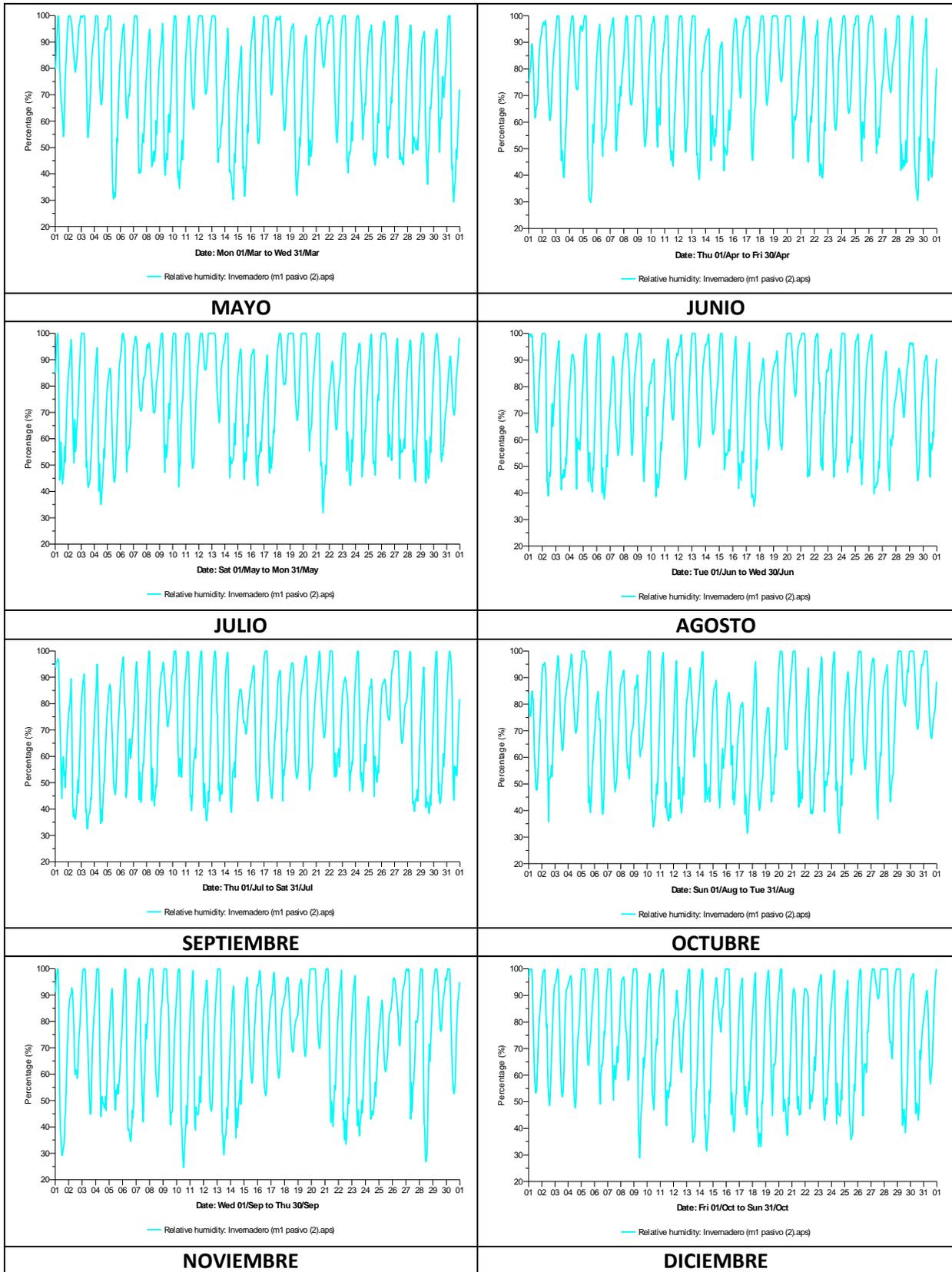
El mes donde se presenta la mayor humedad es en noviembre con el 77.56%, y el mes con la menor humedad es julio con 71.11%.

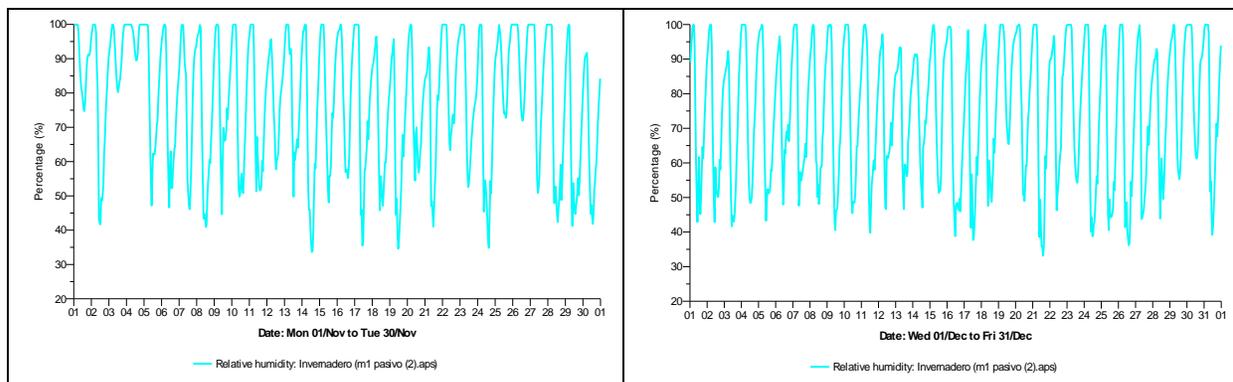
**Grafico 3.6 Humedad relativa mensual caso base – caso 1.**

Fuente: Propia.



Capítulo 3. Caso de estudio





**Tabla 3.8 Humedad relativa anual caso base – caso 1.**

Fuente: Propia

<b>Humedad relativa Invernadero (m1 pasivo)</b>	
<b>MES</b>	<b>(%) medio</b>
Enero	72.27
Febrero	72.23
Marzo	74.77
Abril	76.70
Mayo	76.54
Junio	74.83
Julio	71.11
Agosto	71.97
Septiembre	73.22
Octubre	74.88
Noviembre	77.56
Diciembre	74.40
ANUAL	74.21

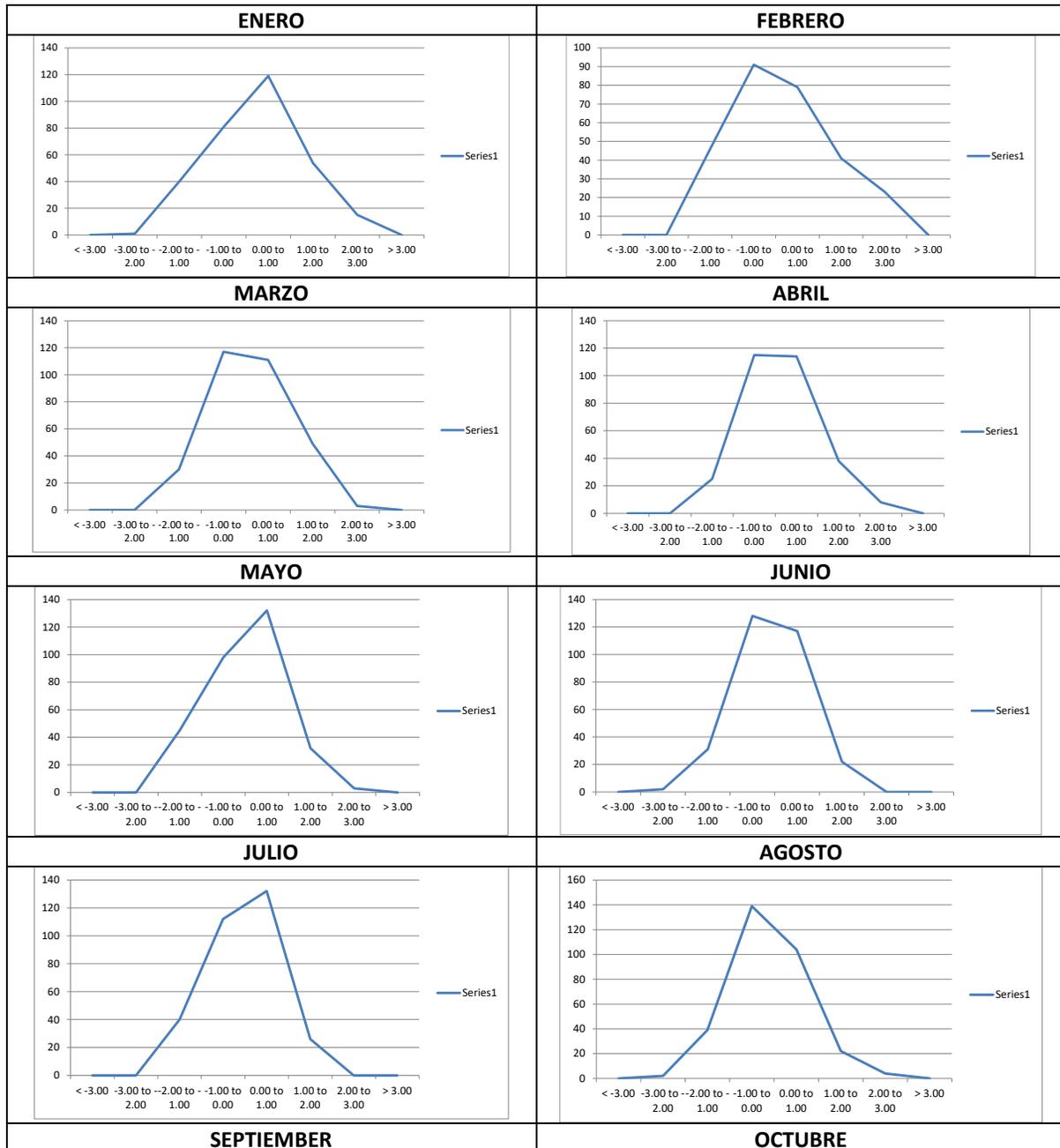
*Índice de confort*

El análisis de índice de confort se realiza de lunes a domingo durante las horas de las 8:00 a las 18:00 en total 10 horas diarias y un total anual de 3650 horas como 100% según la ocupación del invernadero, donde se encuentra que en el año se presentan disconfort por temperaturas bajas con 0.16% en la escala -3 a -1 correspondiente a 6 horas en los meses de enero, junio, agosto y diciembre, con un porcentaje mayor en escala -2 a -1 de 11.28% con 412 horas de enero a

diciembre. Las horas dentro del confort en escala -1 a 0 es del 35.31% con 1289 horas y en escala 0 a 1 es de 38.82% con 1417 horas estos dos durante los meses de enero a diciembre. En cuanto al desconfort por altas temperaturas en escala de 1 a 2 es de 11.28% correspondiente 412 horas y en escala 2 a 3 es de 2.54% con 93 horas que en los dos casos se presentan de enero a diciembre.

**Grafico 3.7 Índice de confort mensual caso base – caso 1.**

Fuente: Propia.



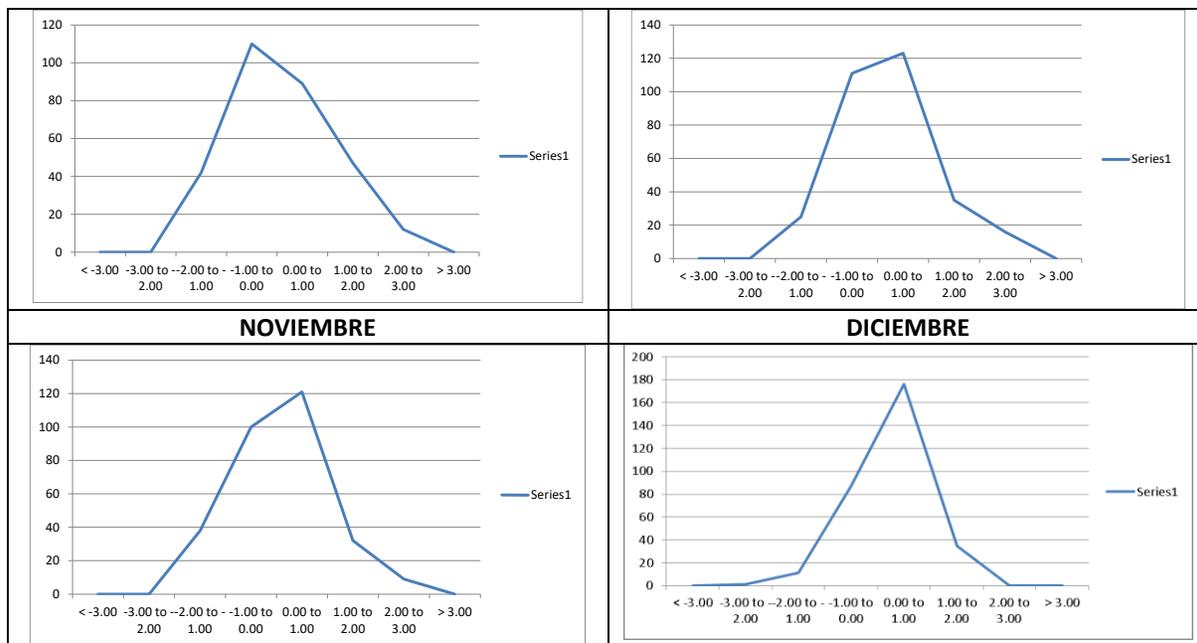


Tabla 3.9 Índice de confort anual caso base – caso 1.

Fuente: Propia.

File	Location	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range
m1 pasivo	Invernadero	< -3.00	-3.00 to -2.00	-2.00 to -1.00	-1.00 to 0.00	0.00 to 1.00	1.00 to 2.00	2.00 to 3.00	> 3.00
	ENERO	0	1	40	81	119	54	15	0
	FEBRERO	0	0	46	91	79	41	23	0
	MARZO	0	0	30	117	111	49	3	0
	ABRIL	0	0	25	115	114	38	8	0
	MAYO	0	0	45	98	132	32	3	0
	JUNIO	0	2	31	128	117	22	0	0
	JULIO	0	0	40	112	132	26	0	0
	AGOSTO	0	2	39	139	104	22	4	0
	SEPTIEMBRE	0	0	42	110	89	47	12	0
	OCTUBRE	0	0	25	111	123	35	16	0
	NOVIEMBRE	0	0	38	100	121	32	9	0
	DICIEMBRE	0	1	11	87	176	35	0	0
	TOTAL ANUAL	0	6	412	1289	1417	433	93	0

B. Caso 2

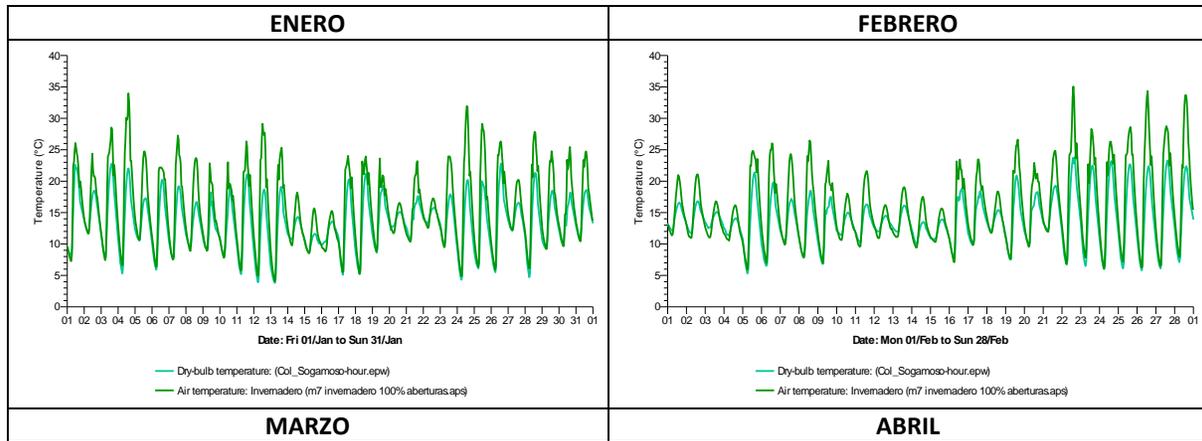
La segunda simulación del caso base se realiza bajo las características establecidas en el primer caso sin embargo se pretende realizar un análisis de la influencia de la ventilación con respecto a la temperatura y humedad relativa interior, de esta manera las áreas de abertura se reducen al 70% sin cambios en el horario de funcionamiento igual al laboral. El horario de ocupación laboral tampoco presenta variación sigue de lunes a domingo desde las 8.00 a la 18:00. En este caso se gira el invernadero de tal manera el norte queda a 0°, para analizar la influencia de los vientos sobre las aberturas.

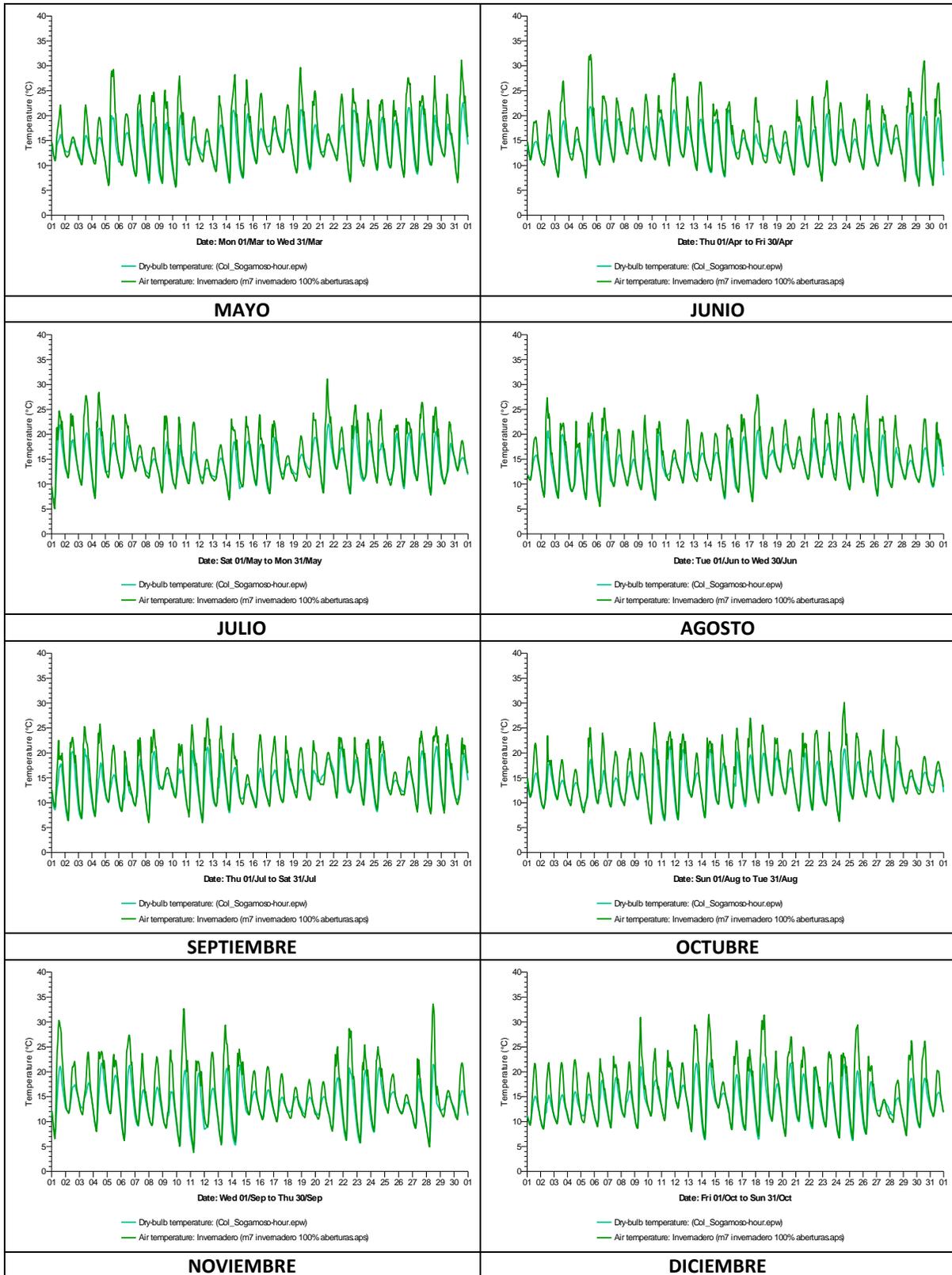
*Temperatura*

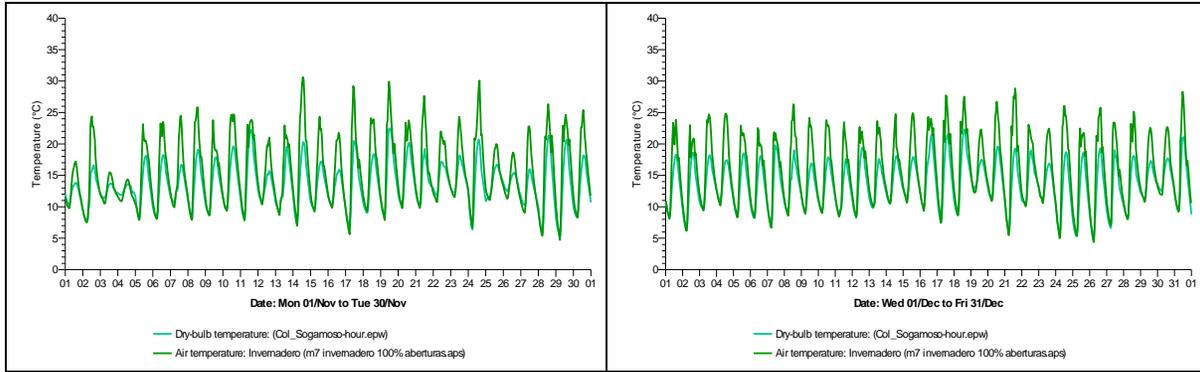
El mes que presenta la temperatura media más alta al interior del invernadero es febrero con 15.99 °C y agosto la más baja con 15.52°C. El día que se presenta la mayor temperatura al interior es el 22 de febrero a las 14:30 horas con 35.07°C y en el exterior 23.7°C. El día con la temperatura más baja interior es el 11 de septiembre a las 05:30 horas con 3.81°C teniendo en el exterior 4.6°C.

**Grafico 3.8 Temperatura interior caso base – caso 2.**

Fuente: Propia.







**Tabla 3.10 Temperatura interior anual caso base – caso 2.**

Fuente: Propia

Temperatura Invernadero (m2 pasivo)			
MES	Tº Máxima	Tº Mínima	Tº Media
Enero	33.97	4.08	15.77
<b>Febrero</b>	<b>35.07</b>	<b>5.93</b>	<b>15.99</b>
Marzo	31.12	5.66	15.93
Abril	32.24	5.83	15.94
Mayo	31.11	5.06	15.95
Junio	27.94	5.51	15.55
Julio	26.96	5.99	15.61
<b>Agosto</b>	<b>30.12</b>	<b>5.74</b>	<b>15.52</b>
<b>Septiembre</b>	<b>33.6</b>	<b>3.81</b>	<b>15.61</b>
Octubre	31.51	6.55	15.97
Noviembre	30.63	4.72	15.58
Diciembre	28.85	4.37	15.96
<b>ANUAL</b>	<b>31.09</b>	<b>5.27</b>	<b>15.78</b>

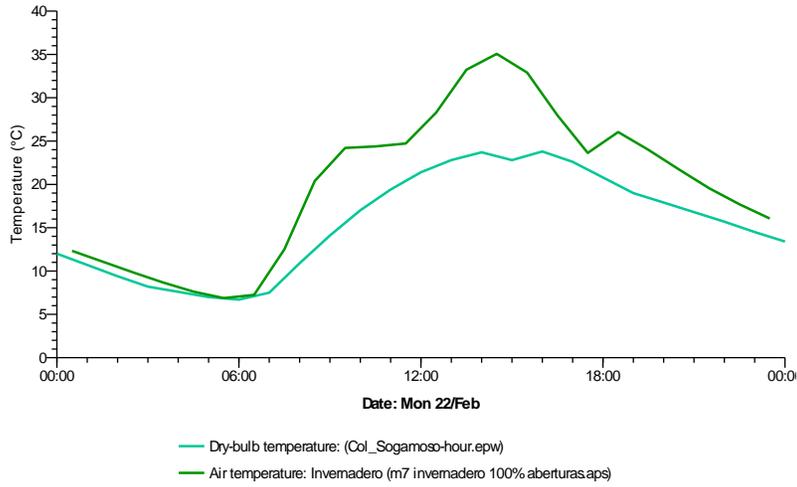
**Tabla 3.11 Día con la temperatura más alta caso base – caso 2.**

Fuente: Propia.

Día y hora con la temperatura más alta				
	Peak Date	Peak Time	Dry-bulb temperature (°C)	Air temperature (°C)
<b>Invernadero</b>	22-feb	14:30	23.7	35.07

**Grafico 3.9 Día con la temperatura más alta caso base – caso 2.**

Fuente: Propia.



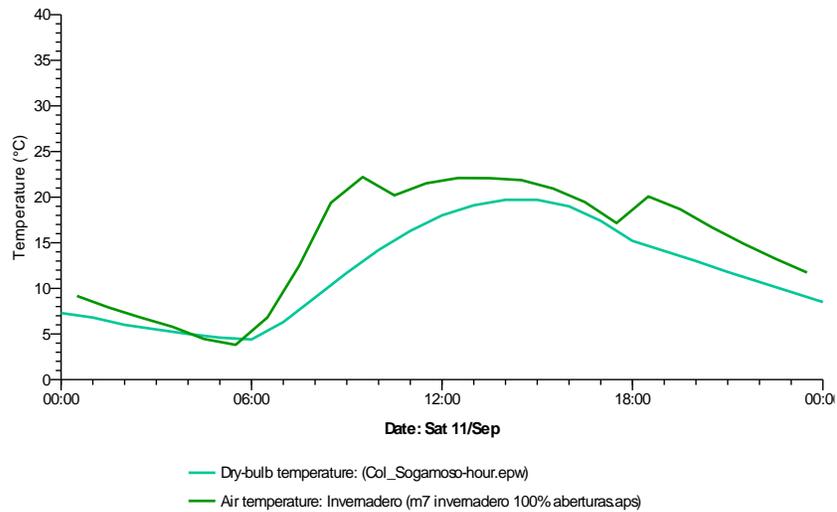
**Tabla 3.12 Día con la temperatura más baja caso base - caso 2.**

Fuente: Propia.

Día y hora con la temperatura más baja				
	Peak Date	Peak Time	Dry-bulb temperature (°C)	Air temperature (°C)
Invernadero	11-sep	05:30	4.6	3.81

**Grafico 3.10 Día con la temperatura más baja caso base – caso 2.**

Fuente: Propia.

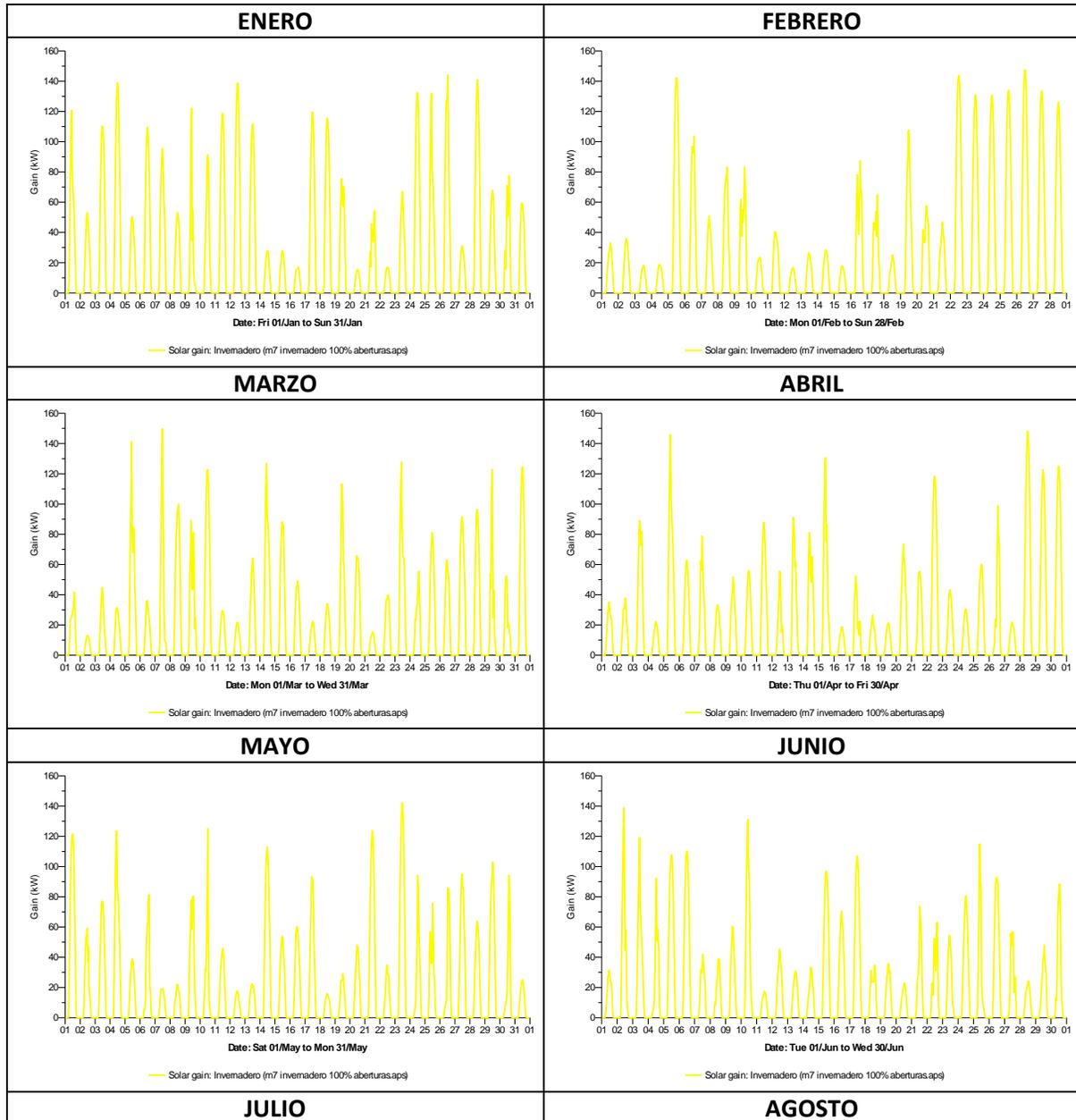


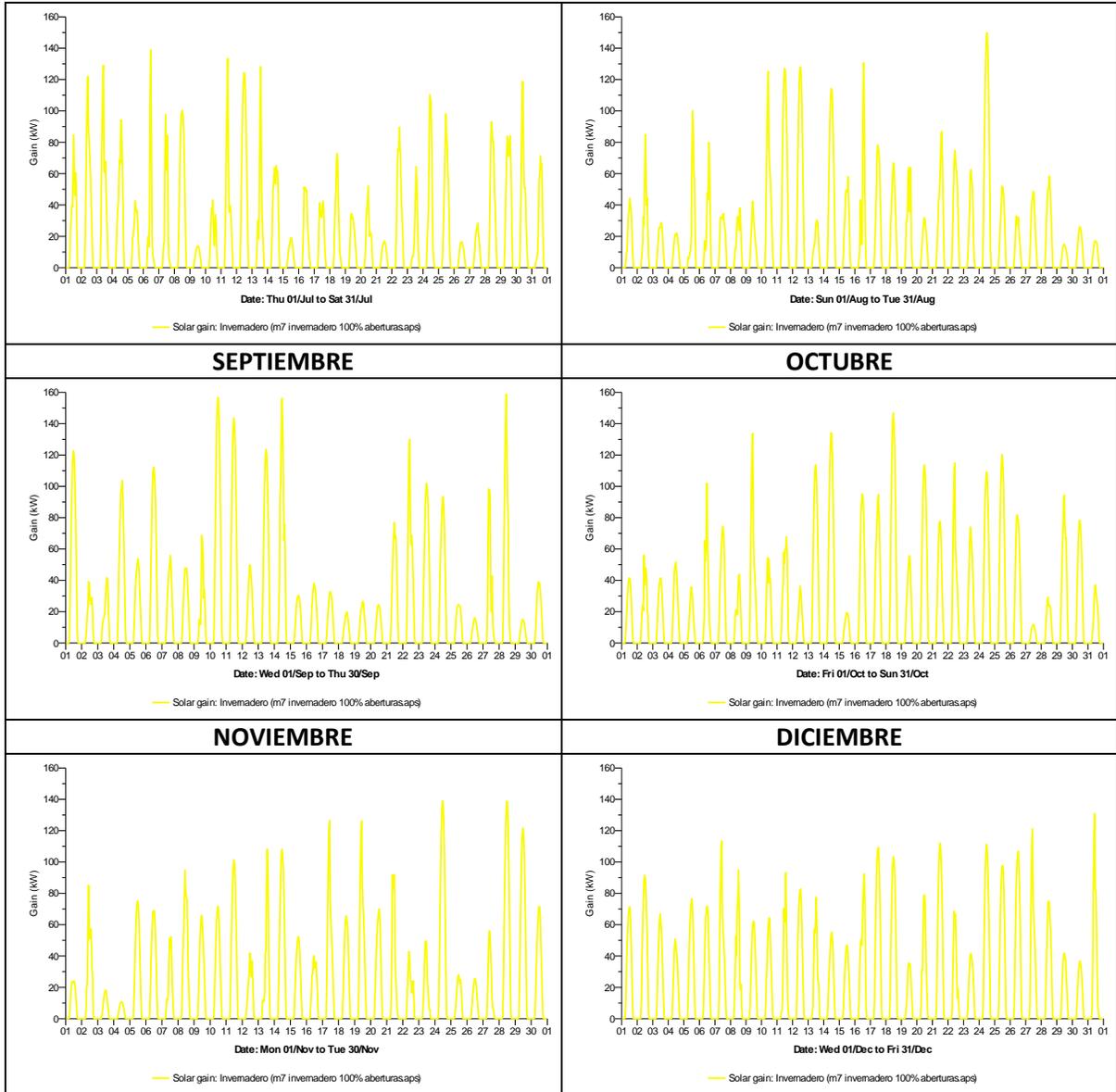
Ganancia Solar

El mes donde se presenta la mayor ganancia solar media es enero con 24.07 KW, y el mes donde se presenta la menor es agosto con 18.31 KW.

Grafico 3.11 Ganancias solares mensuales caso base – caso 2.

Fuente: Propia





**Tabla 3.13 Ganancias solares anuales caso base – caso 2.**

Fuente: Propia.

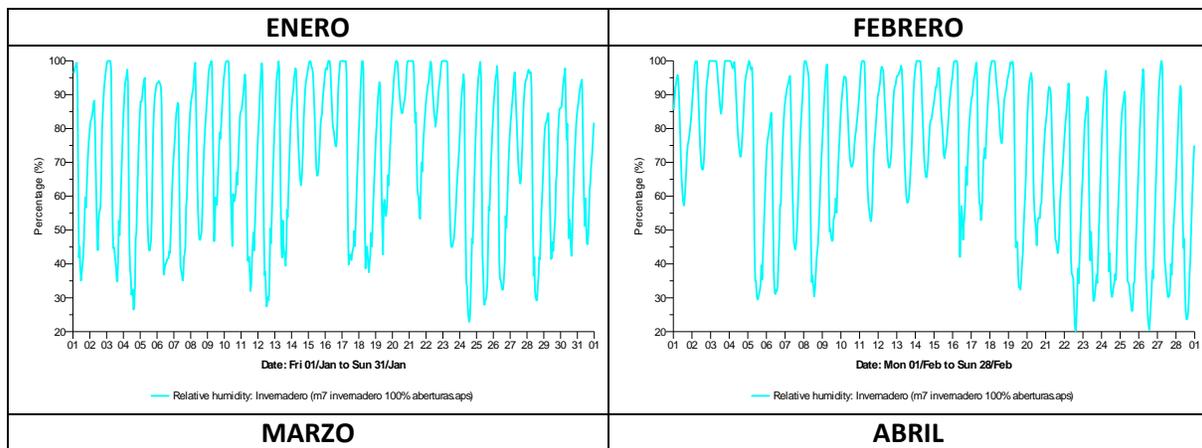
Ganancias solares Invernadero (m2 pasivo)	
MES	(KW) media
Enero	24.07
Febrero	22.09
Marzo	19.85
Abril	19.6
Mayo	19.48
Junio	18.71
Julio	19.96
Agosto	18.31
Septiembre	21.27
Octubre	21.62
Noviembre	20.32
Diciembre	22.30
ANUAL	20.63

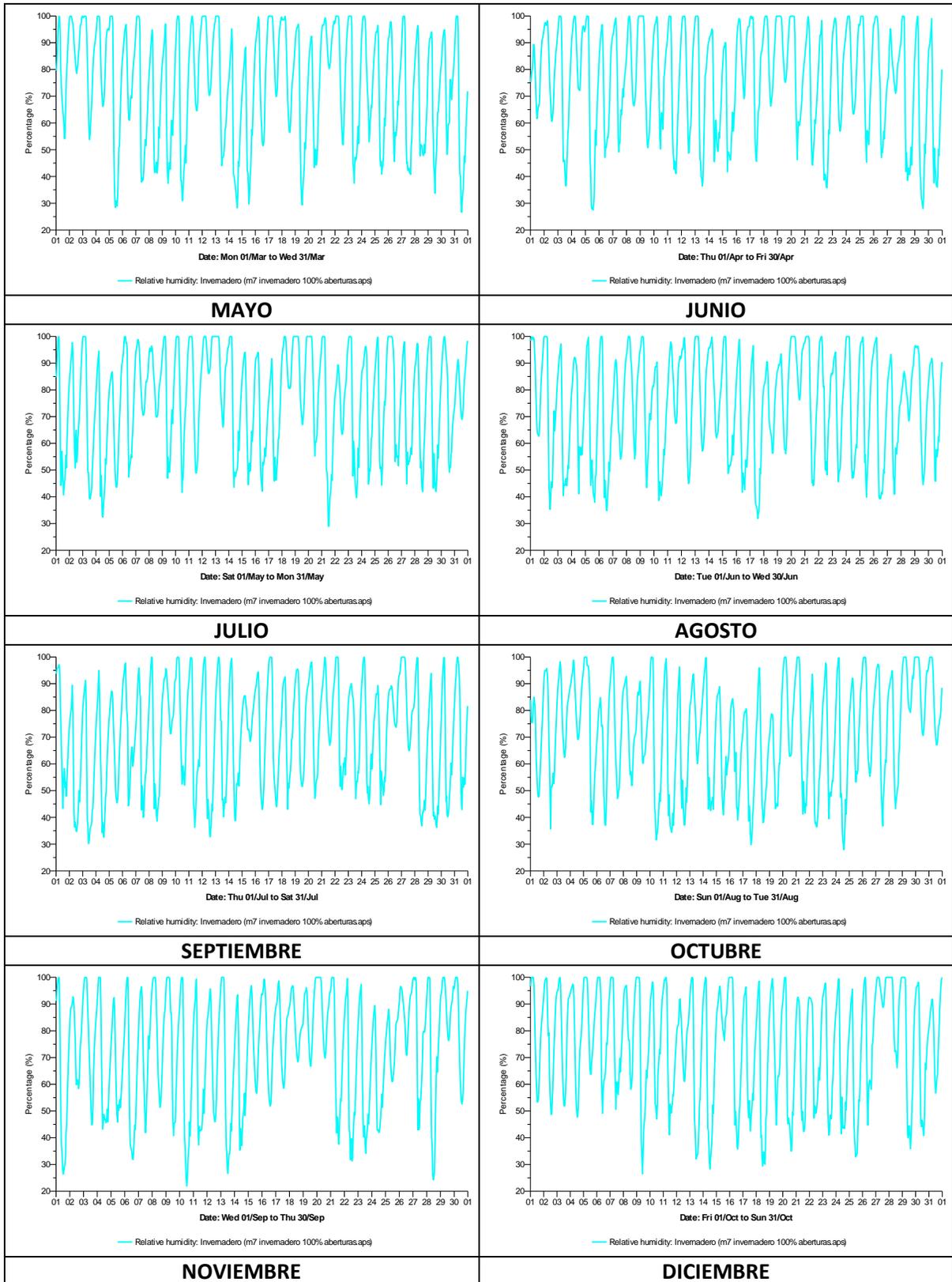
*Humedad relativa*

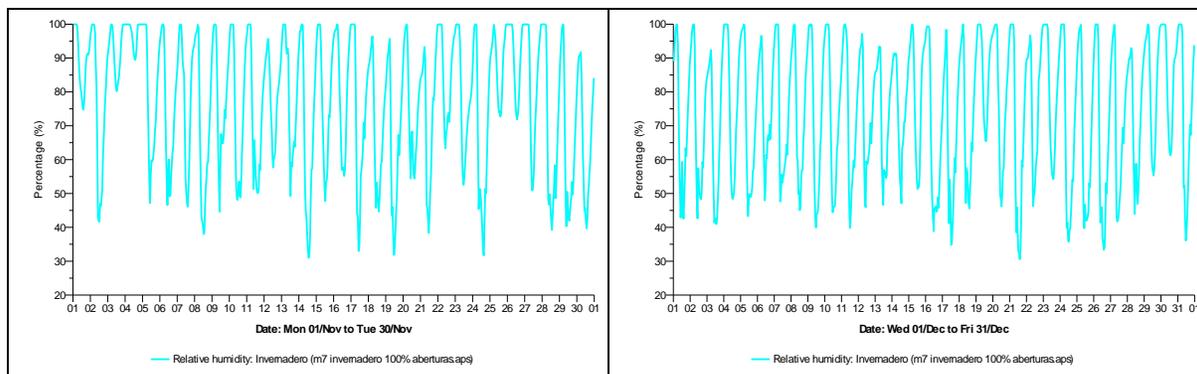
El mes donde se presenta la mayor humedad es en noviembre con el 77.10%, y el mes con la menor humedad es julio con 70.76%.

**Grafico 3.12 Humedad relativa caso base – caso 2.**

Fuente: Propia.







**Tabla 3.14 Humedad relativa anual caso base – caso 2.**

Fuente: Propia

Humedad relativa Invernadero (m2 pasivo)	
MES	(%) medio
Enero	71.73
Febrero	71.85
Marzo	74.36
Abril	76.27
Mayo	76.1
Junio	74.46
Julio	70.76
Agosto	71.66
Septiembre	72.84
Octubre	74.39
Noviembre	77.1
Diciembre	73.85
ANUAL	73.78

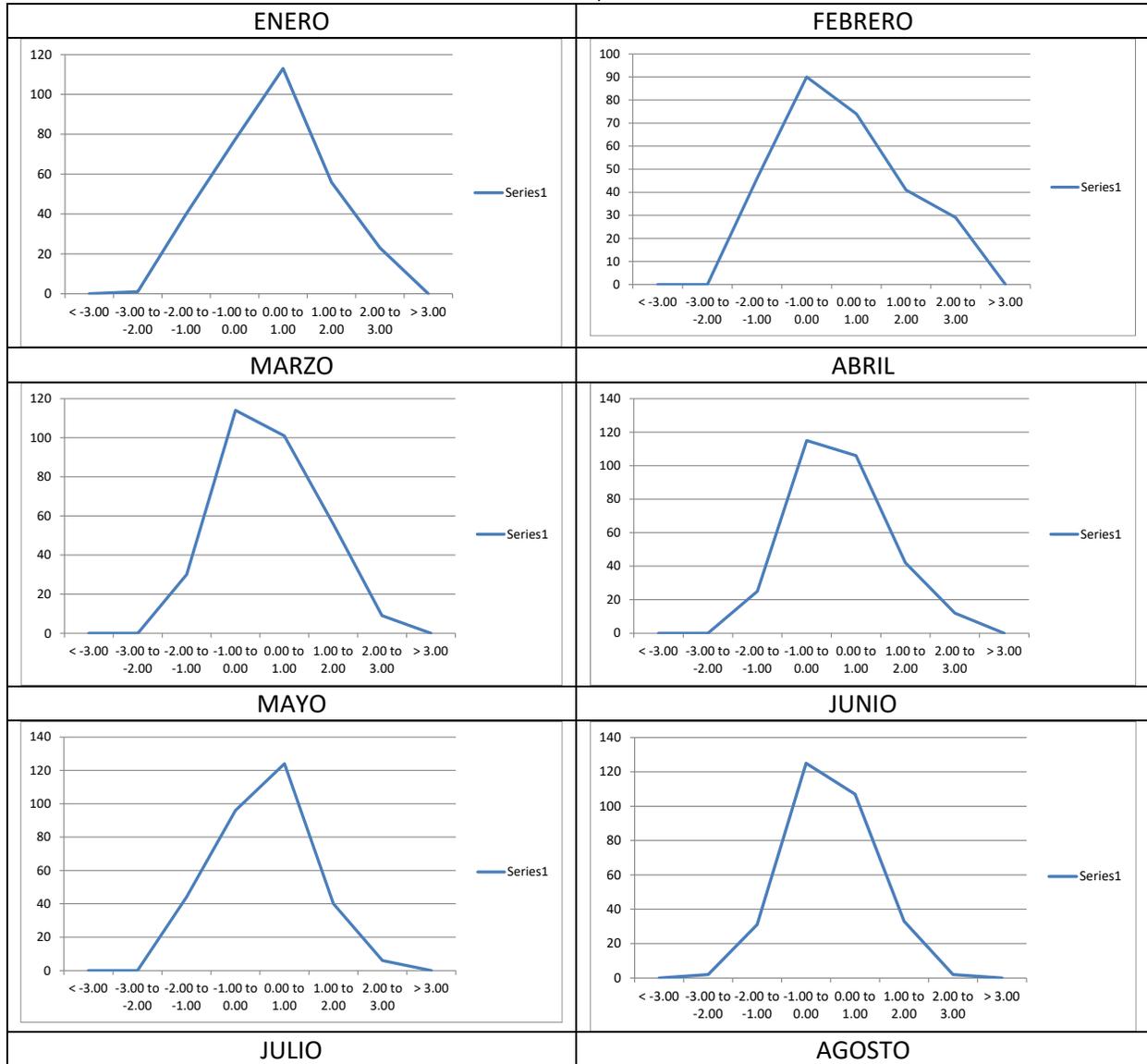
*Índice de confort*

El análisis de índice de confort se realiza de lunes a domingo durante las horas de las 8:00 a las 18:00 en total 10 horas diarias y un total anual de 3650 horas como 100% según la ocupación del invernadero, donde se encuentra que en el año se presentan disconfort por temperaturas bajas con 0.16% en la escala -3 a -1 correspondiente a 6 horas en los meses de enero, junio, agosto y diciembre, con un porcentaje mayor en escala -2 a -1 de 11.20% con 409 horas de enero a diciembre. Las horas dentro del confort en escala -1 a 0 es del 34.57% con 1262 horas y en escala 0

a 1 es de 36.79% con 1343 horas estos dos durante los meses de enero a diciembre. En cuanto al discomfort por altas temperaturas en escala de 1 a 2 es de 13.53% correspondiente 494 horas y en escala 2 a 3 es de 3.72% con 136 horas que en los dos casos se presentan de enero a diciembre.

**Grafico 3.13 Índice de confort caso base – caso 2.**

Fuente: Propia



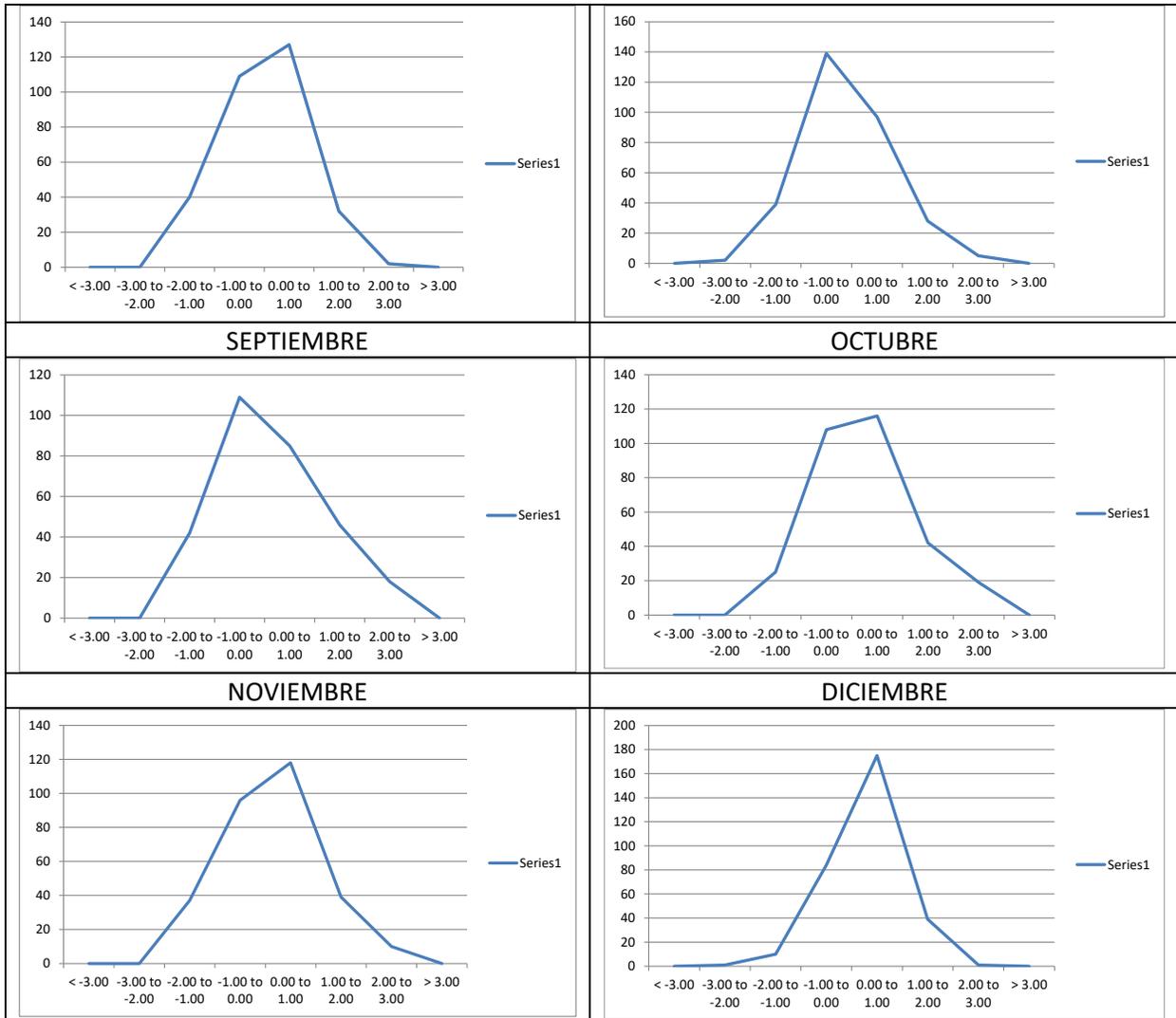


Tabla 3.15 Índice de confort anual caso base – caso 2.

Fuente: Propia.

File	Location	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range
m2 pasivo	Invernadero	< -3.00	-3.00 to -2.00	-2.00 to -1.00	-1.00 to 0.00	0.00 to 1.00	1.00 to 2.00	2.00 to 3.00	> 3.00
	ENERO	0	1	40	77	113	56	23	0
	FEBRERO	0	0	46	90	74	41	29	0
	MARZO	0	0	30	114	101	56	9	0
	ABRIL	0	0	25	115	106	42	12	0
	MAYO	0	0	44	96	124	40	6	0
	JUNIO	0	2	31	125	107	33	2	0
	JULIO	0	0	40	109	127	32	2	0
	AGOSTO	0	2	39	139	97	28	5	0
	SEPTIEMBRE	0	0	42	109	85	46	18	0
	OCTUBRE	0	0	25	108	116	42	19	0
	NOVIEMBRE	0	0	37	96	118	39	10	0
	DICIEMBRE	0	1	10	84	175	39	1	0
	TOTAL ANUAL	0	6	409	1262	1343	494	136	0

C. Caso 3

La tercera simulación del caso base se realiza bajo las características del caso 1 con el 100% de funcionamiento de las áreas de aberturas calculadas, ocupación laboral de lunes a domingo desde las 8:00 a la 18:00. Se modifica el horario de funcionamiento de las aberturas el cual se establece de las 10:00 a las 16:00 con el fin de aumentar la temperatura interior del invernadero para poder llegar a los rangos el de confort térmico de los trabajadores y temperatura adecuada para el secado de los granos. De la misma manera que el caso 2 el norte se encuentra a 0°.

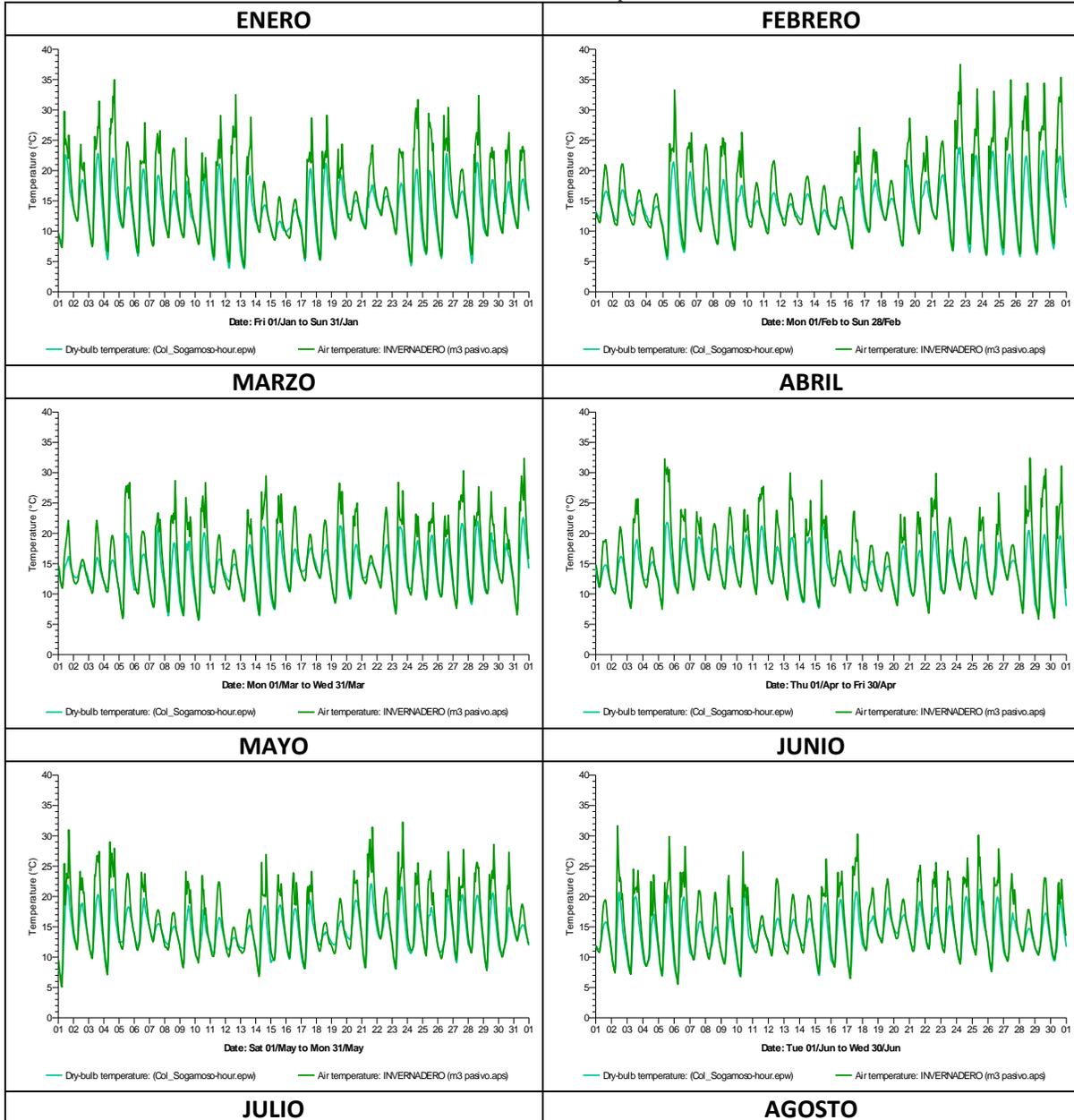
*Temperatura*

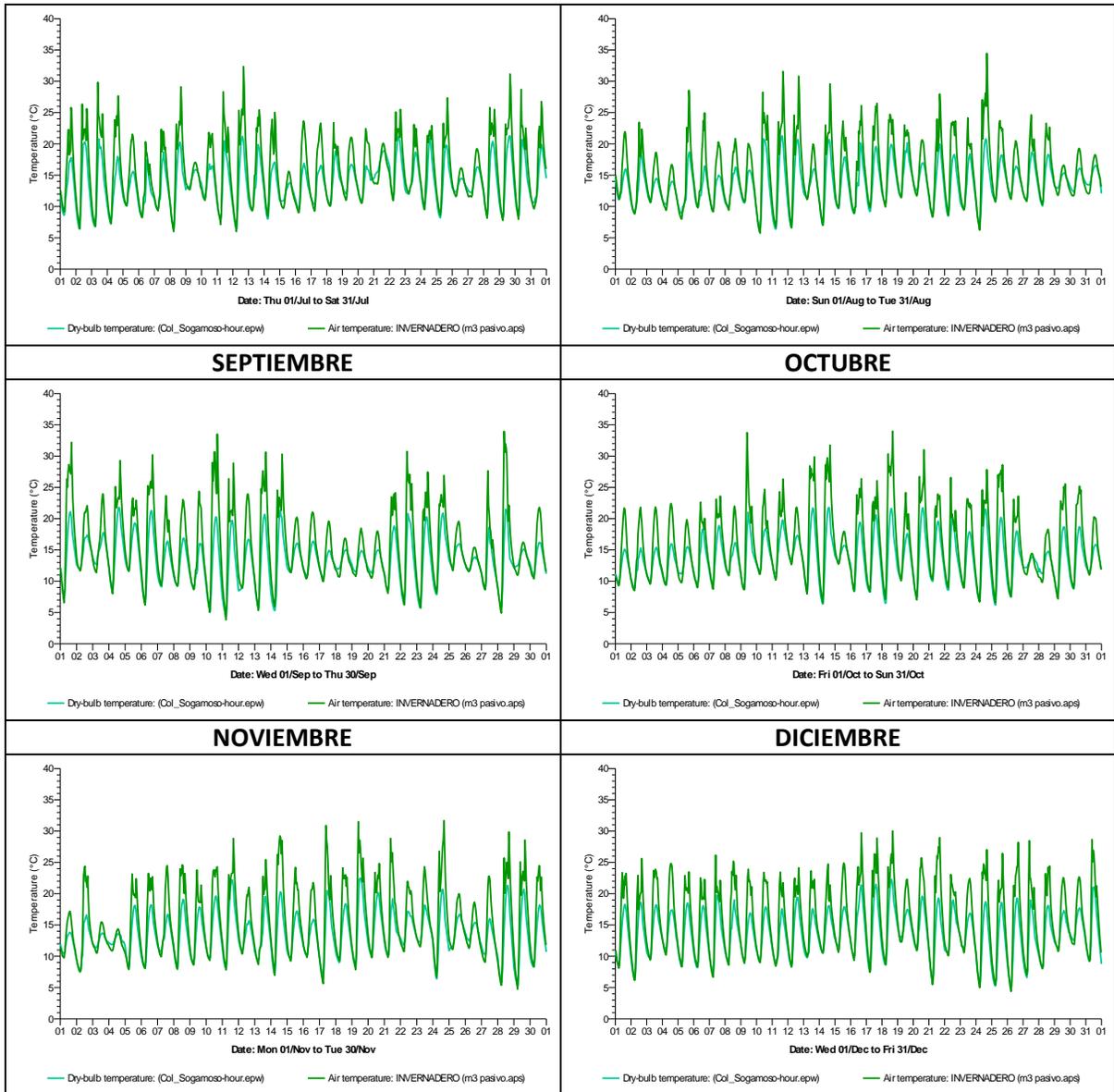
El mes que presenta la temperatura media más alta al interior del invernadero sigue siendo febrero con 16.23 °C y septiembre la más baja con 14.61°C. El día que se presenta la mayor temperatura al interior es el 22 de febrero a las 16:30 horas con 37.49 °C y en el exterior 23.8 °C. El

día con la temperatura más baja interior es el 11 de septiembre a las 05:30 horas con 3.84 °C teniendo en el exterior 4.6°C.

Grafico 3.14 Temperatura interior mensual caso base – caso 3.

Fuente: Propia.





**Tabla 3.16 Temperatura interior anual caso base – caso 3.**

Fuente: Propia.

Temperatura Invernadero (m3 pasivo)			
MES	Tº Máxima	Tº Mínima	Tº Media
Enero	34.98	4.10	16.00
<b>Febrero</b>	<b>37.49</b>	<b>5.93</b>	<b>16.23</b>
Marzo	32.38	5.67	16.09
Abril	32.43	5.85	16.11
Mayo	32.28	5.08	16.14
Junio	31.65	5.52	15.72
Julio	32.35	6.00	15.85
Agosto	34.46	5.74	15.69
<b>Septiembre</b>	<b>33.95</b>	<b>3.84</b>	<b>14.61</b>
Octubre	33.97	6.56	16.12
Noviembre	31.68	4.74	15.74
Diciembre	30.01	4.38	16.12
ANUAL	33.13	5.28	15.87

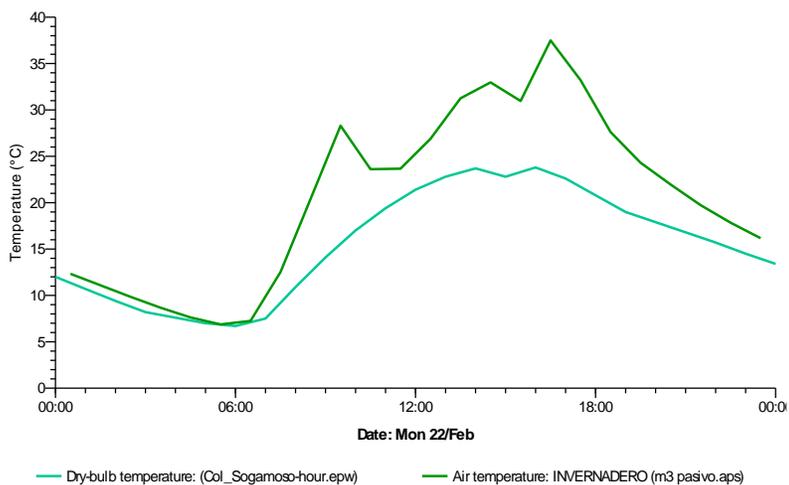
**Tabla 3.17 Día con la temperatura más alta caso base – caso 3.**

Fuente: Propia.

Día con la temperatura más alta				
	Peak Date	Peak Time	Dry-bulb temperature (°C)	Air temperature (°C)
<b>INVERNADERO</b>	22-feb	16:30	23.8	37.49

**Gráfico 3.15 Día con la temperatura más alta caso base – caso 3.**

Fuente: Propia.



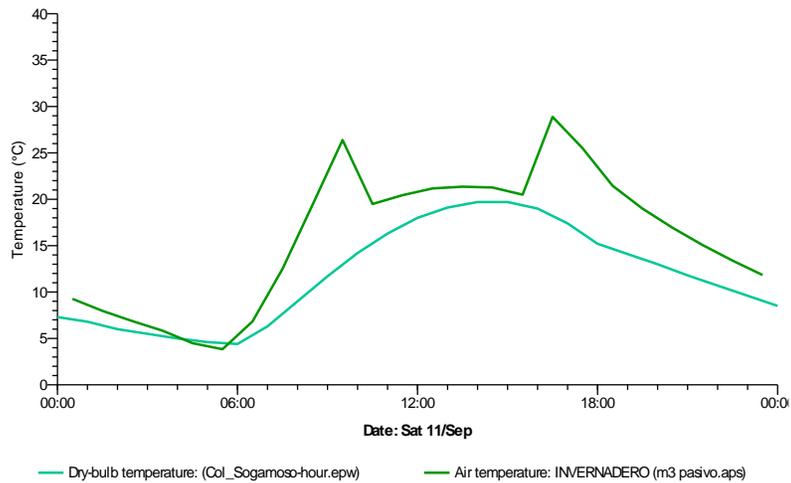
**Tabla 3.18 Día con la temperatura más baja caso base – caso 3.**

Fuente: Propia.

Día con la temperatura más baja				
	Peak Date	Peak Time	Dry-bulb temperature (°C)	Air temperature (°C)
<b>INVERNADERO</b>	11-sep	05:30	4.6	3.84

**Grafico 3.16 Día con la temperatura más baja caso base – caso 3.**

Fuente: Propia.

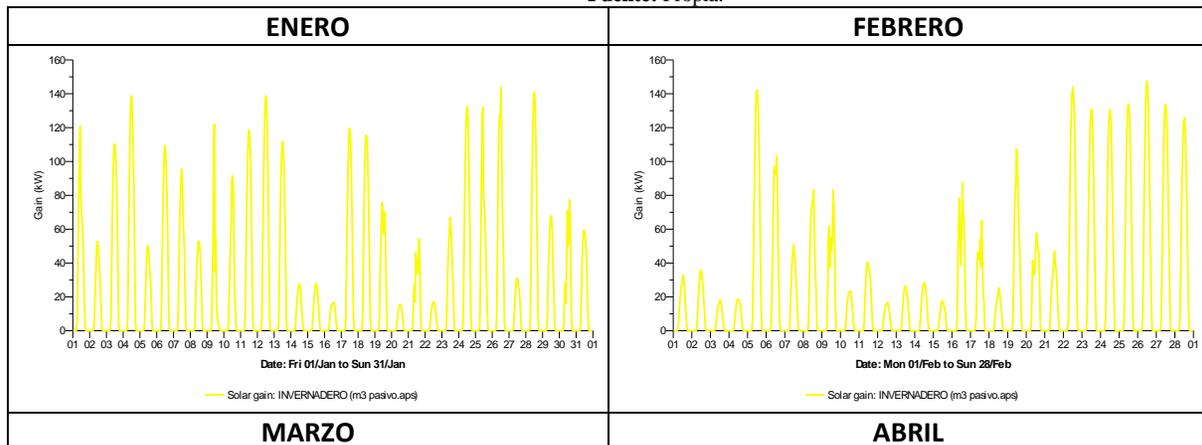


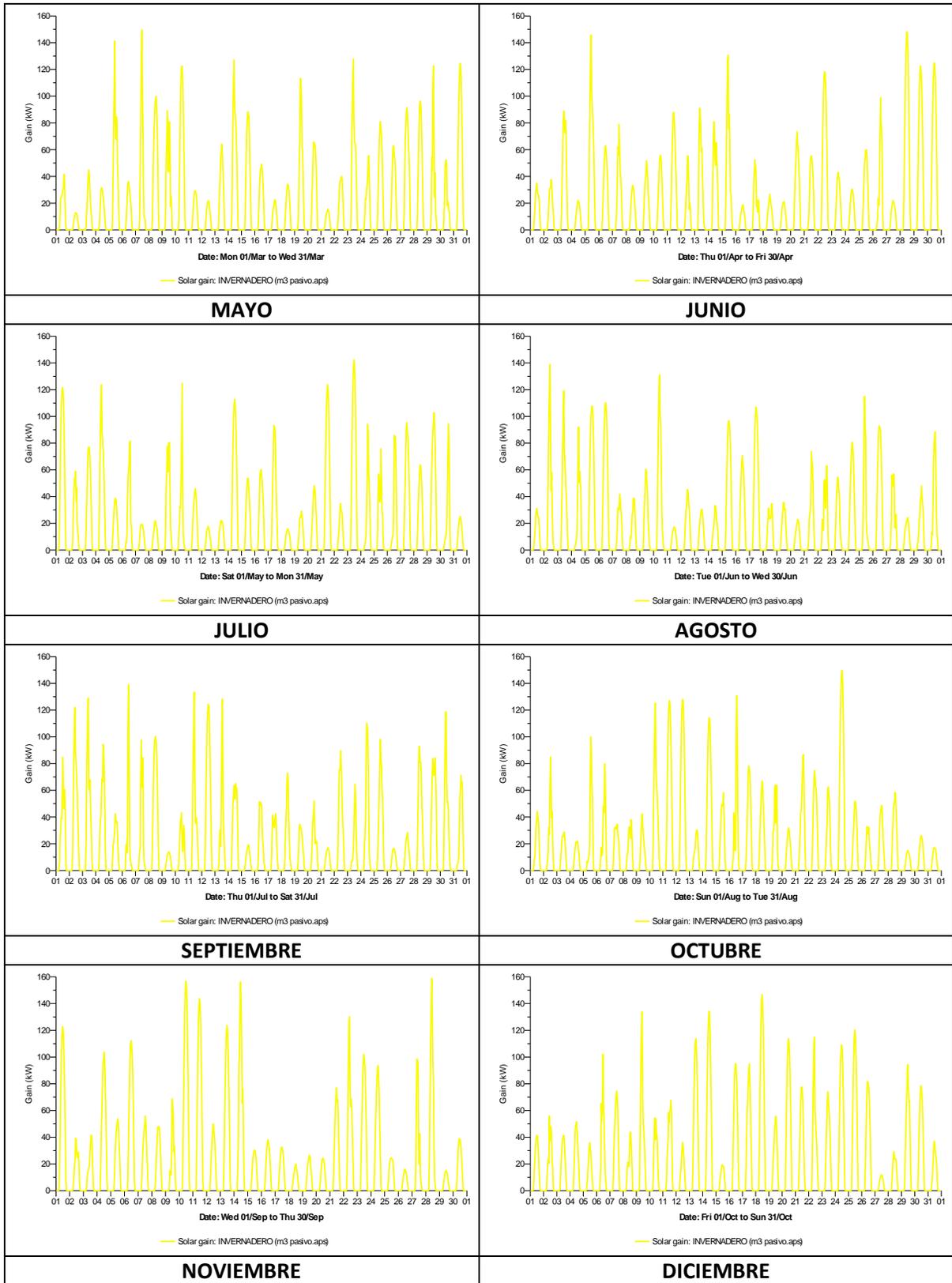
*Ganancia solar*

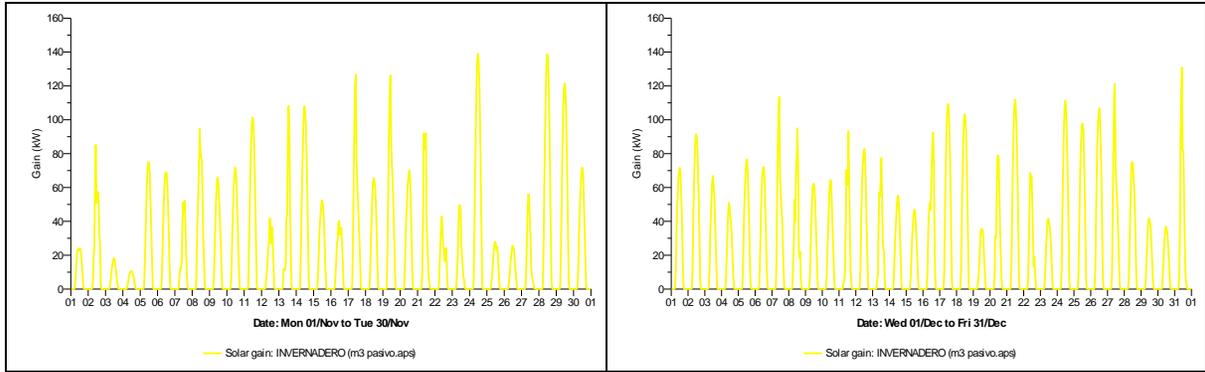
El mes donde se presenta la mayor ganancia solar media es enero con 23.78 KW, y el mes donde se presenta la menor es agosto con 18.31 KW.

**Grafico 3.17 Ganancias solares mensuales caso base – caso 3.**

Fuente: Propia.







**Tabla 3.19 Ganancias solares anuales caso base – caso 3.**

Fuente: Propia.

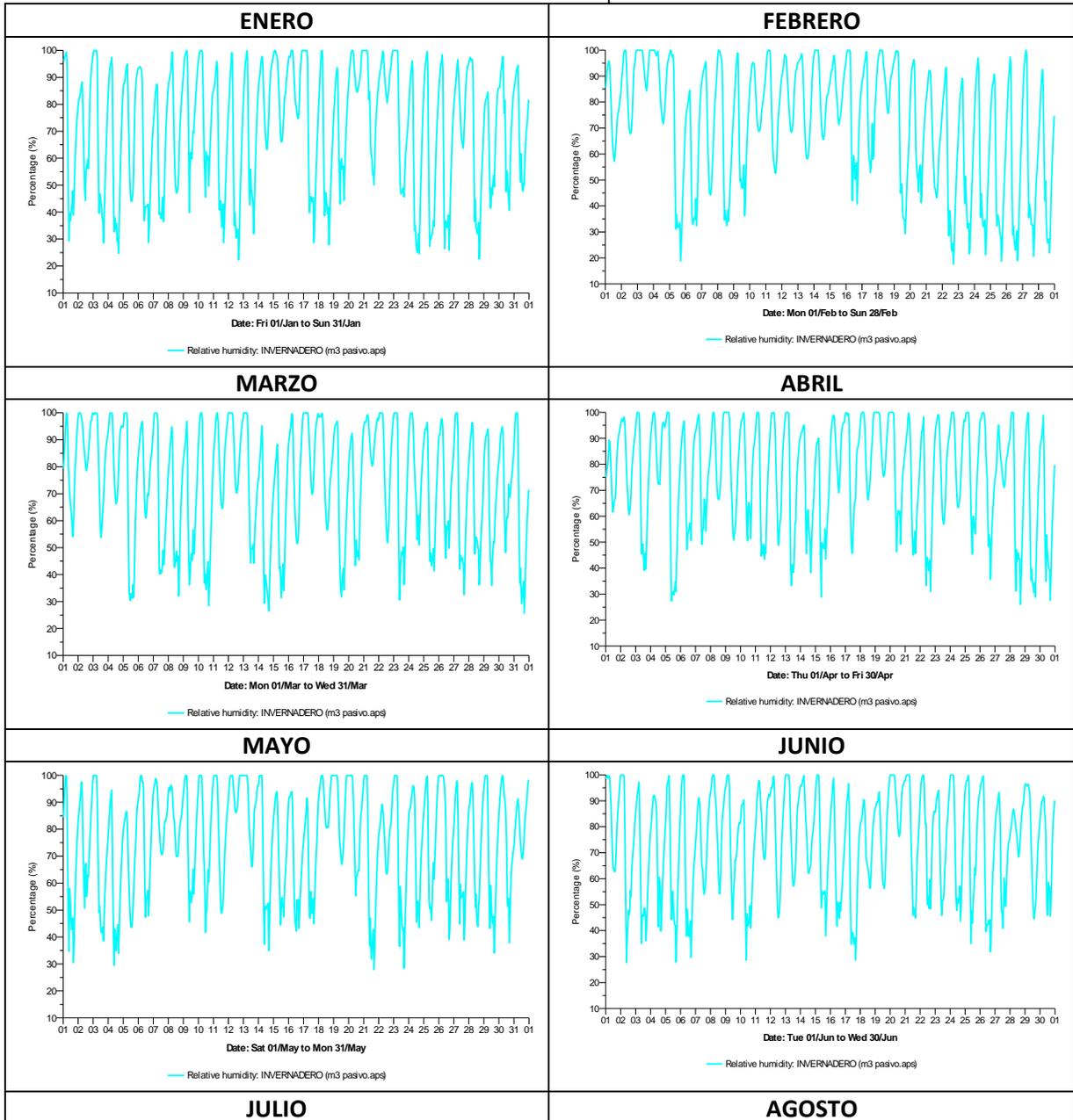
Ganancias solares Tiempo aberturas	
MES	(KW) media
Enero	23.78
Febrero	22.00
Marzo	19.83
Abril	19.60
Mayo	19.46
Junio	18.72
Julio	19.97
Agosto	18.31
Septiembre	21.21
Octubre	21.58
Noviembre	20.12
Diciembre	22.10
ANUAL	20.56

*Humedad relativa*

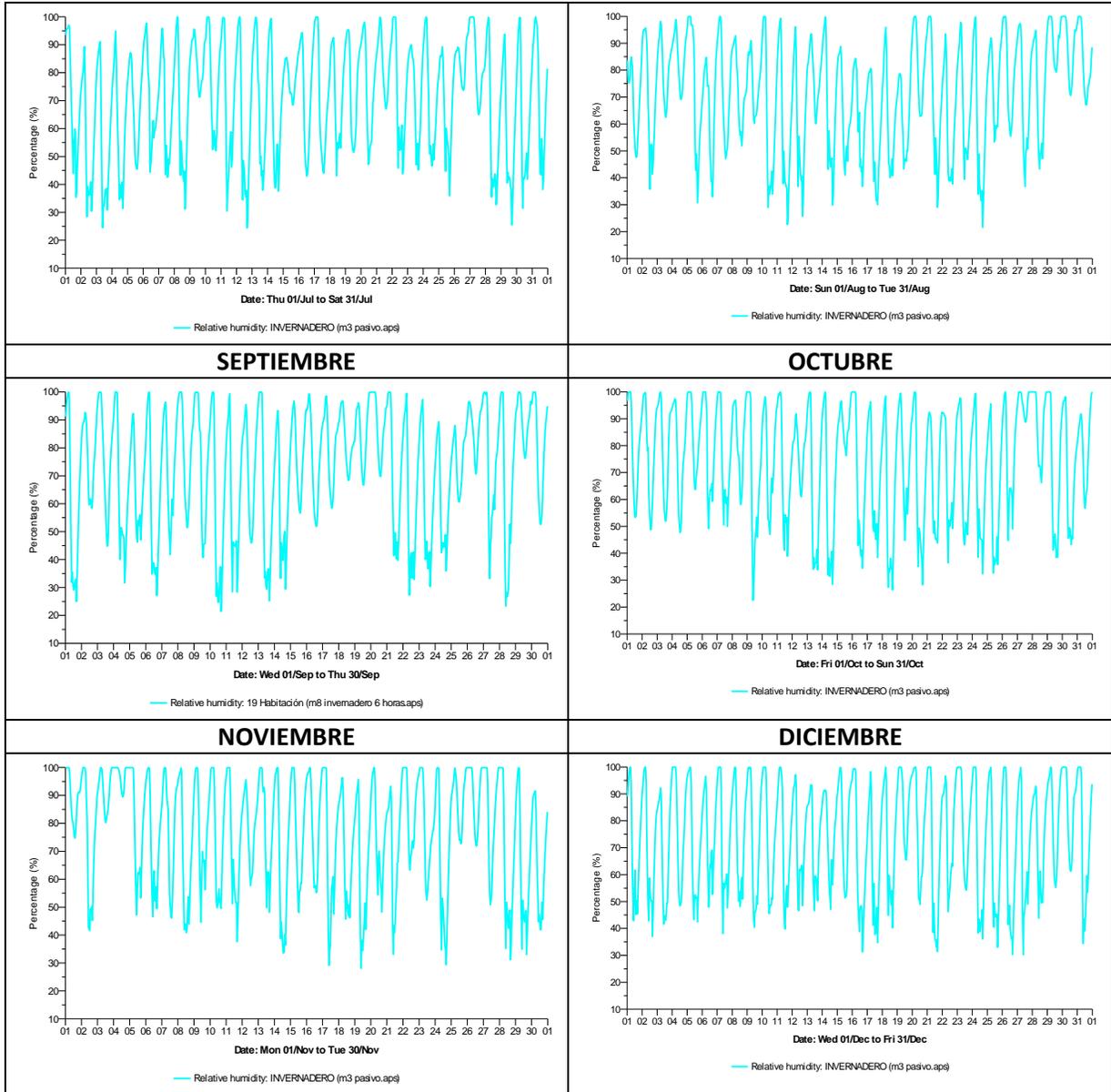
El mes donde se presenta la mayor humedad es en noviembre con el 76.58%, y el mes con la menor humedad es julio con 70.02%.

**Gráfico 3.18 Humedad relativa mensual caso base – caso 3.**

Fuente: Propia.



Capítulo 3. Caso de estudio



**Tabla 3.20 Humedad relativa anual caso base – caso 3.**Fuente: **Propia.**

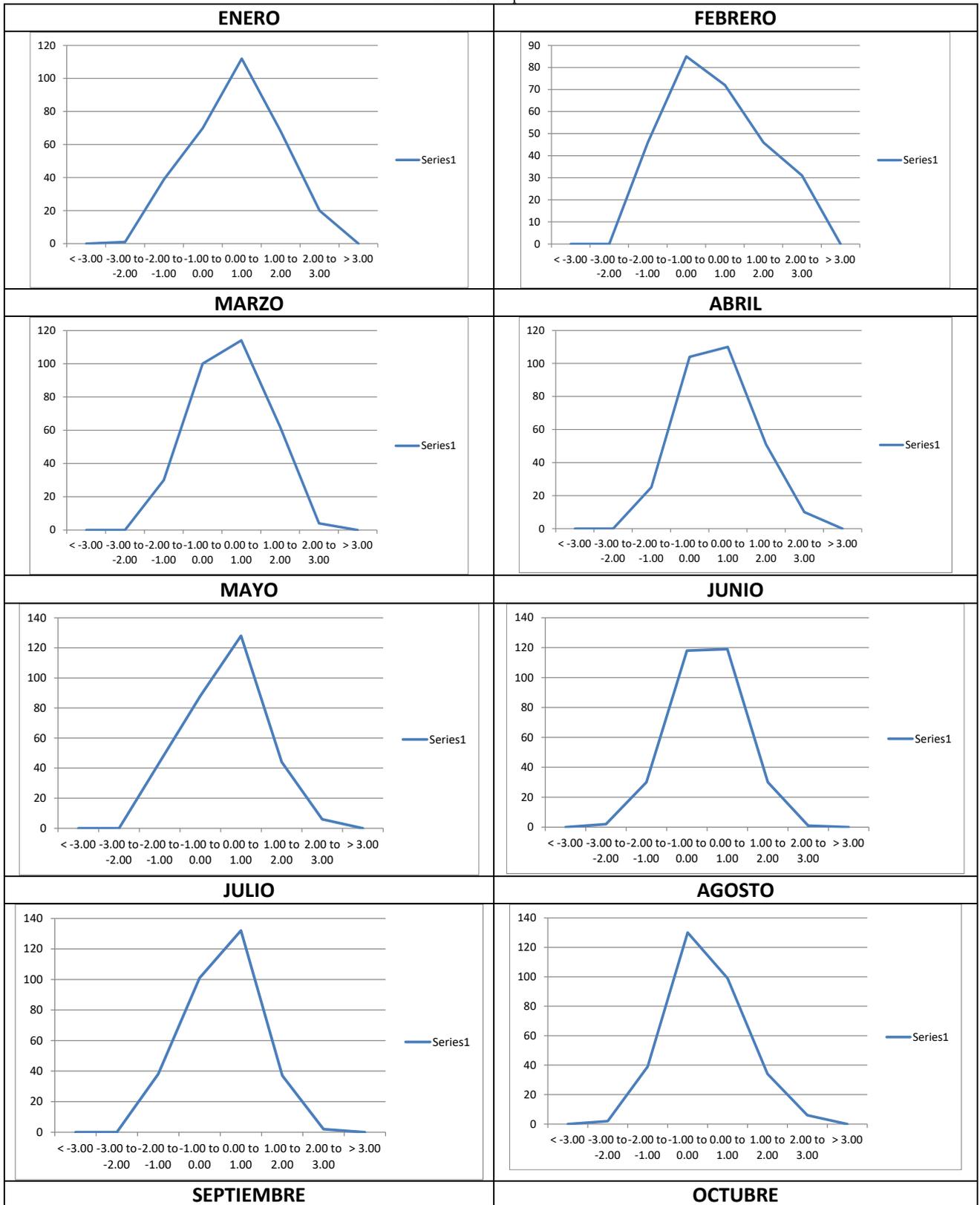
Humedad relativa Tiempo aberturas	
MES	(%) medio
Enero	71.08
Febrero	71.20
Marzo	73.77
Abril	75.61
Mayo	75.44
Junio	73.88
Julio	70.02
Agosto	71.10
Septiembre	72.17
Octubre	73.82
Noviembre	76.58
Diciembre	73.34
ANUAL	73.16

*Índice de confort*

El análisis del índice de confort se realiza de lunes a domingo durante las horas de las 8:00 a las 18:00 en total 10 horas diarias y un total anual de 3650 horas como 100% según la ocupación del invernadero, donde se encuentra que en el año se presenta disconfort por temperaturas bajas con 0.16% en la escala -3 a -1 correspondiente a 6 horas en los meses de enero, junio, agosto y diciembre, con un porcentaje mayor en escala -2 a -1 de 11.04% con 403 horas de enero a diciembre. Las horas dentro del confort en escala -1 a 0 es del 31.86% con 1163 horas y en escala 0 a 1 es de 38.05% con 1389 horas estos dos durante los meses de enero a diciembre. En cuanto al disconfort por altas temperaturas en escala de 1 a 2 es de 15.36% correspondiente 561 horas y en escala 2 a 3 es de 3.50% con 128 horas que en los dos casos se presentan de enero a diciembre.

Grafico 3.19 Índice de confort mensual caso base – caso 3.

Fuente: Propia.



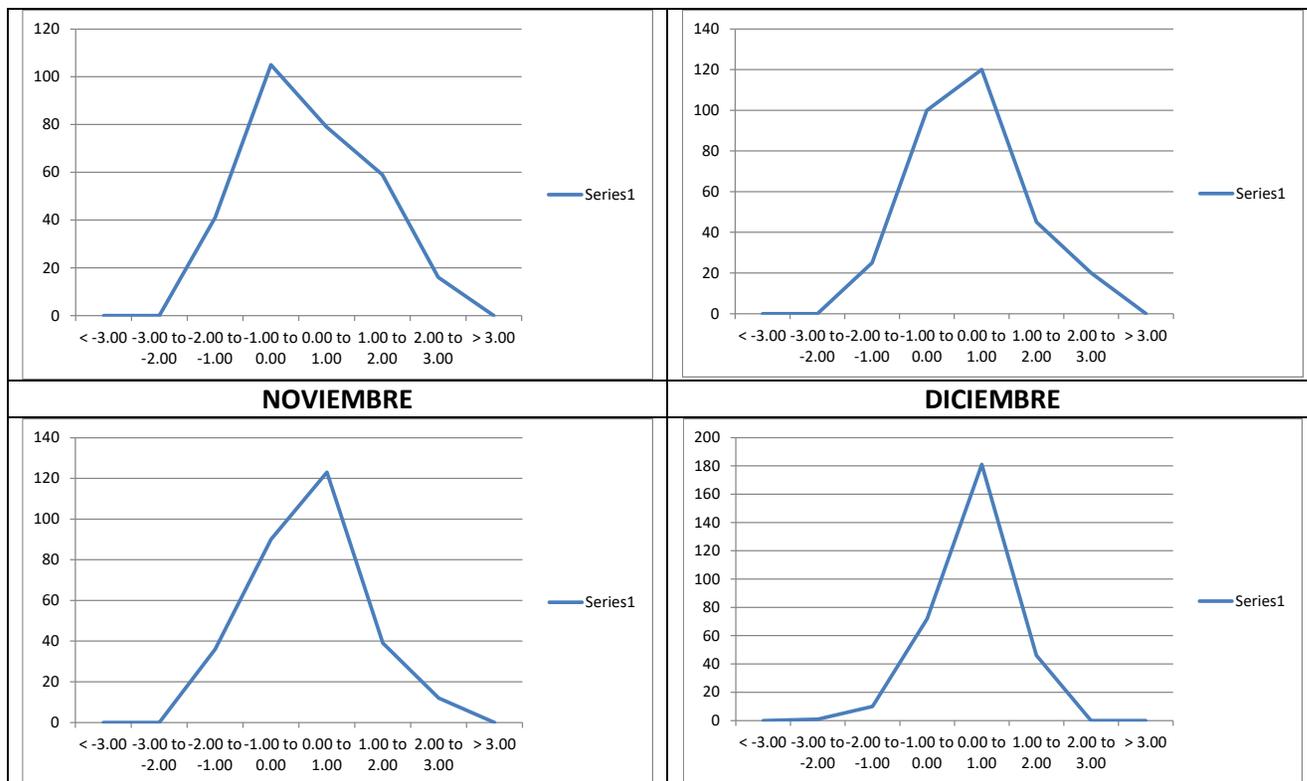


Tabla 3.21 Índice de confort anual caso base – caso 3.

Fuente: Propia.

File	Location	Predicted mean vote (-) - hours in range	Predicted mean vote (-) - hours in range	Predicted mean vote (-) - hours in range	Predicted mean vote (-) - hours in range	Predicted mean vote (-) - hours in range	Predicted mean vote (-) - hours in range	Predicted mean vote (-) - hours in range	Predicted mean vote (-) - hours in range
m3 pasivo	INVERNADERO	< -3.00	-3.00 to -2.00	-2.00 to -1.00	-1.00 to 0.00	0.00 to 1.00	1.00 to 2.00	2.00 to 3.00	> 3.00
	ENERO	0	1	39	70	112	68	20	0
	FEBRERO	0	0	46	85	72	46	31	0
	MARZO	0	0	30	100	114	62	4	0
	ABRIL	0	0	25	104	110	51	10	0
	MAYO	0	0	44	88	128	44	6	0
	JUNIO	0	2	30	118	119	30	1	0
	JULIO	0	0	38	101	132	37	2	0
	AGOSTO	0	2	39	130	99	34	6	0
	SEPTIEMBRE	0	0	41	105	79	59	16	0
	OCTUBRE	0	0	25	100	120	45	20	0
	NOVIEMBRE	0	0	36	90	123	39	12	0
	DICIEMBRE	0	1	10	72	181	46	0	0
	TOTAL ANUAL	0	6	403	1163	1389	561	128	0

### 3.1.3 Análisis de resultados comparativos entre casos

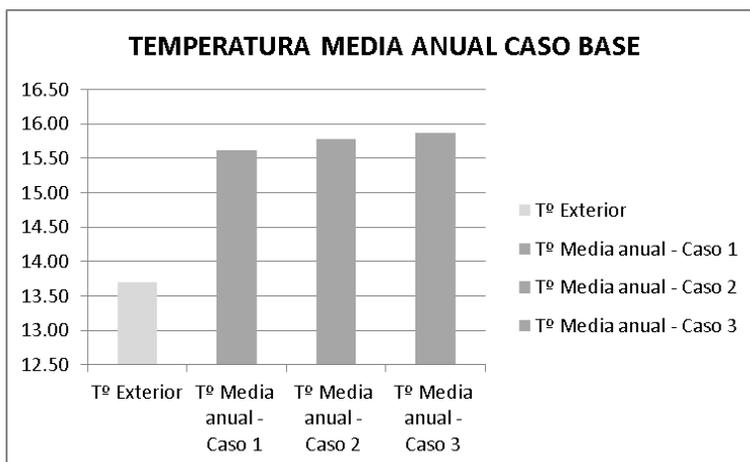
El siguiente análisis se realiza bajo la comparación de los resultados anteriores de los casos base 1, 2 y 3, con el fin de comparar el comportamiento de la implementación de las características y materiales convencionales implementados en los invernaderos, de igual manera se analiza el comportamiento al interior del invernadero con respecto a la temperatura, ganancias solares, humedad relativa e índice de confort, de acuerdo a las áreas de abertura o ventilación.

#### Temperatura

Realizando la comparación de la temperatura media de los tres casos se encuentra que: Desde el primer caso aumenta la temperatura interior del invernadero 2°C, con respecto a la temperatura exterior. No hay un aumento significativo de la temperatura interior entre los casos; lo correspondiente al exterior son 13.70°C, para el caso 1 son 15.62°C, caso 2 de 15.78°C y el mayor resultado caso 3 con 15.87°C. Se concluye que al reducir el horario de funcionamiento de las aberturas se aumenta más la temperatura interior del invernadero que reduciendo las áreas de abertura.

Grafico 3.20 Comparativo caso base caso 1,2y 3 temperatura media anual.

Fuente: Propia.

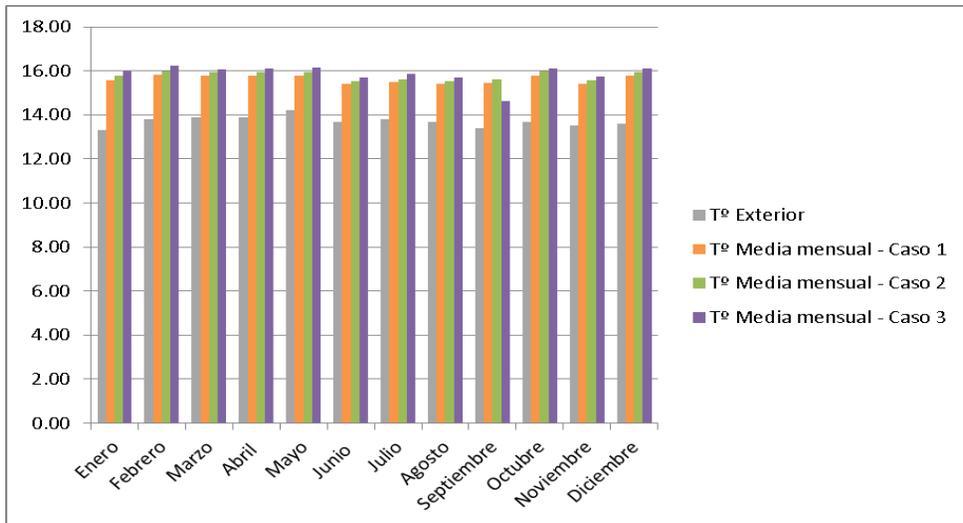


En cuanto a la temperatura media mensual exterior se encuentra que enero es el mes más frío con 13.30°C y mayo el más caluroso los 14.20°C. En cuanto a los caso 1, 2 y 3 este último es el que

presenta la mayor temperatura al interior llegando a 16.23°C en el mes de febrero, pero de la misma manera presenta la temperatura mas baja en septiembre con 14.61°C, los dos casos anteriores presentan de temperaturas entre los 15.40°C a los 15.99°C.

**Grafico 3.21 Comparativo caso base caso 1,2y 3 temperatura media mensual.**

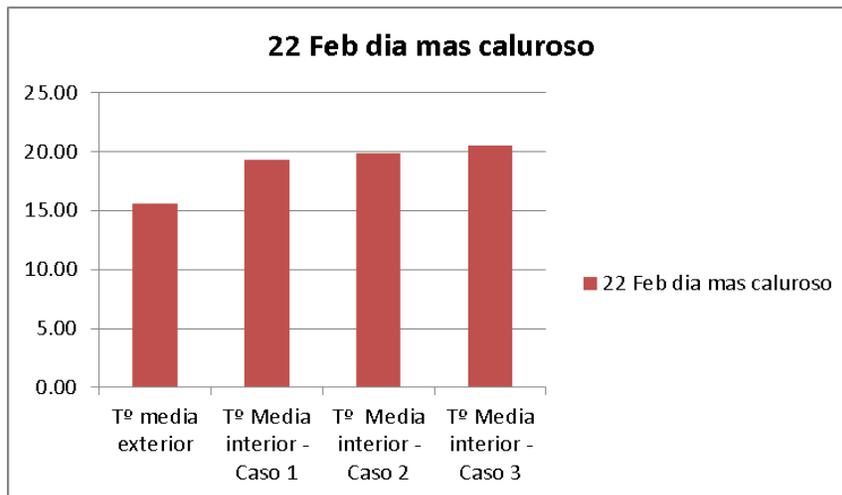
Fuente: Propia.



En cuanto al día más caluroso la temperatura media anual en el exterior es de 15.56°C, con respecto a los casos 1,2 y 3 aumenta la temperatura interior aproximadamente en 4°C, en el caso 1 es de 19.30°C, en caso 2 es de 19.83°C y la más alta el caso 3 20.52°C.

**Grafico 3.22 Comparativo caso base caso 1,2y 3 día más caluroso.**

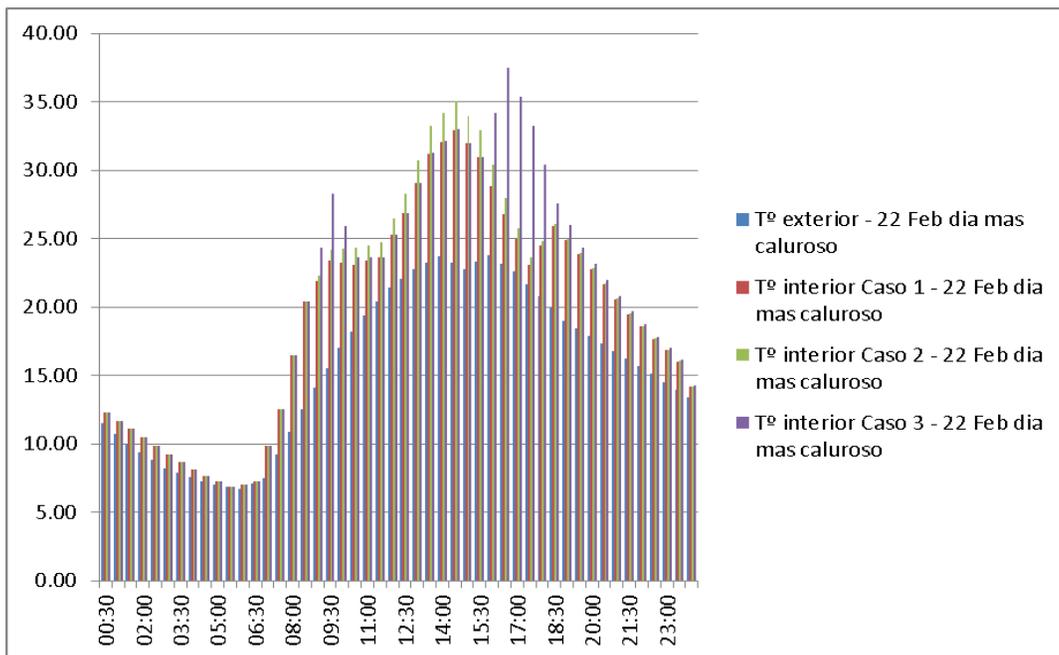
Fuente: Propia.



Durante el día más caluroso la temperatura exterior sobre los 20°C se encuentra desde las 11:30 a las 18:00 horas teniendo en este día 6.5 horas sobre esta temperatura, teniendo como máxima 23.80°C y la mínima de 6.70°C a las 6:00 horas, con una diferencia entre estas dos de 17.1°C. En el caso 1 la temperatura por encima de los 20°C se encuentra de las 8:30 a las 21:00 teniendo en este día 12.5 horas sobre este rango, con una máxima de 32.95°C y con 6.5 horas de sobrecalentamiento o temperatura por encima de los 25°C, desde las 12:00 a las 18:30 horas. La temperatura mínima para el caso 1 en este día es de 6.87°C a las 5:30 horas, con una diferencia entre la más alta y la más baja de 26.08°C. En el caso 2 de la misma manera que el caso 1 con las mismas horas sobre los 20°C sin embargo la máxima es de 35.07°C y las horas de sobrecalentamiento son entre las 12:00 a las 17:00 y de las 18:30 a las 19:00 con un total de 6 horas de sobrecalentamiento. La temperatura mínima para el caso 2 en este día es de 6.87°C a las 5:30 horas, con una diferencia entre la más alta y la más baja de 28.2°C. Para el caso 3 de la misma manera que los casos anteriores, se encuentra 12.5 horas sobre los 20°C con el mismo horario, con una temperatura máxima de 37.49°C y 8 horas de sobrecalentamiento entre las 9:30 a las 10:00 y entre las 12:00 a las 19:00. La temperatura mínima para el caso 3 en este día es de 6.87°C a las 5:30 horas, con una diferencia entre la más alta y la más baja de 30.62°C.

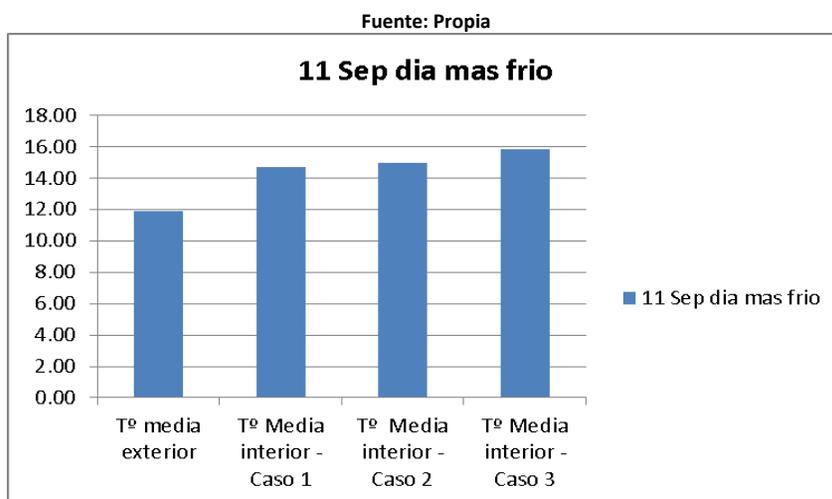
**Gráfico 3.23 Comparativo caso base caso 1,2y 3 día más caluroso por hora.**

Fuente: Propia.



En el día más frío la temperatura media anual en el exterior es de 11.90°C, con respecto a los casos 1,2 y 3 aumenta la temperatura interior aproximadamente en 2 y 3°C, en el caso 1 es de 14.70°C, en caso 2 es de 14.98°C y la más alta el caso 3 15.80°C.

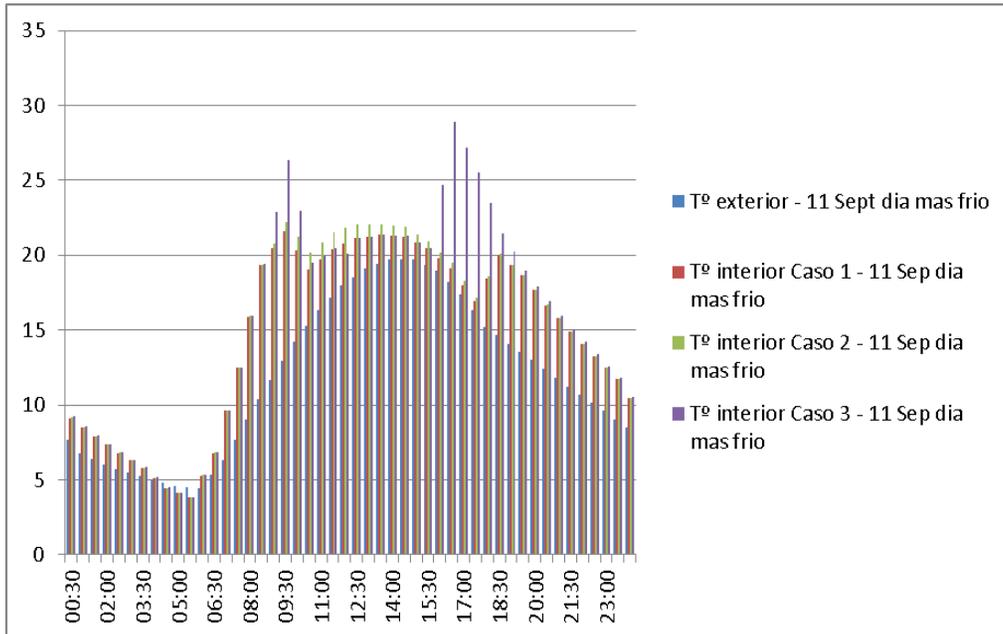
**Grafico 3.24 Comparativo caso base caso 1,2y 3 día más frío.**



Durante el día más frío la temperatura exterior no alcanza a llegar a los 20°C la más alta es desde las 14:00 a las 15:00 con 19.70°C, la temperatura más baja es de 4.40°C a las 6:00 horas, con una diferencia entre estas dos de 15.3°C. En el caso 1 la temperatura por encima de los 20°C se encuentra de las 9:00 a las 15:30 teniendo en este día 6.5 horas sobre este rango, con una máxima de 21.59°C y temperatura mínima de 3.80°C a las 5:30 horas, con una diferencia entre estas dos de 17.79°C. En el caso 2 con 7.5 horas desde las 9:00 a las 16:00 y las 18:30 se encuentran por encima de los 20°C, con una temperatura máxima de 22.21°C a las 9:30 horas y una mínima de 3.81 a las 5:30 horas, con una diferencia entre estas dos de 18.4°C. Para el caso 3 con 10 horas desde las 9:00 a las 19:00 sobre los 20°C, con una temperatura máxima de 28.88°C a las 16:30 horas, con 1.5 horas de sobrecalentamiento a partir de las 9:30 y desde las 16:30 a las 17:30, la temperatura más baja es a las 5:30 horas con 3.84°C, y la diferencia entre la más alta y más baja es de 25.04°C.

**Grafico 3.25 Comparativo caso base caso 1,2y 3 día más frío por hora.**

Fuente: Propia.



Se puede concluir que en el día más caluroso las horas de confort para los trabajadores entre las 8:30 a las 18:00 en el caso 1 son mayores a las de los dos casos siguientes sin embargo es mayor el sobrecalentamiento en los tres casos. Con respecto a la temperatura que se requiere para el secado del grano de la quinua que es entre los 20 °C a 25 °C se presentan temperaturas hasta 18 °C y a partir de las 22:30 hasta las 8:00 son más bajas de lo requerido para el secado del grano llegando a los 6.87 °C en los 3 modelos.

En cuanto al día más frío las horas de confort para los trabajadores son más representativas en los dos primeros casos presentándose sobrecalentamiento en el tercero. Las temperaturas que se encuentran por debajo del rango requerido para el secado del grano se presentan desde las 20:00 hasta las 8:00 en los tres casos.

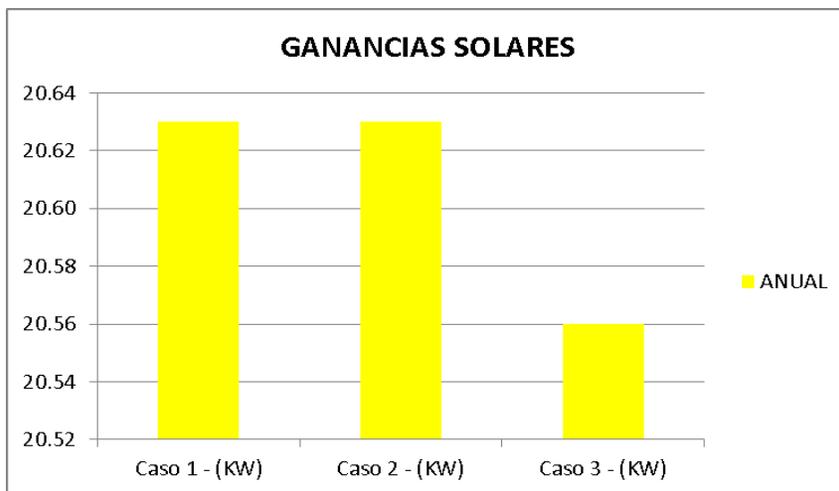
El material que se emplea para la envolvente permite que las variaciones de temperatura al interior sean iguales a la temperatura exterior y no permite que el proceso de secado del grano sea continuo.

*Ganancia solar*

En los dos primeros casos no se presentan modificaciones en ganancias solares, el valor para el caso A y B es de 20.63 KW. Sin embargo, en el caso 3 hay reducción, pero no con valores significativos el valor es 20.56 KW. Los meses con mayor ganancia solar son: Enero, febrero, septiembre, octubre y diciembre.

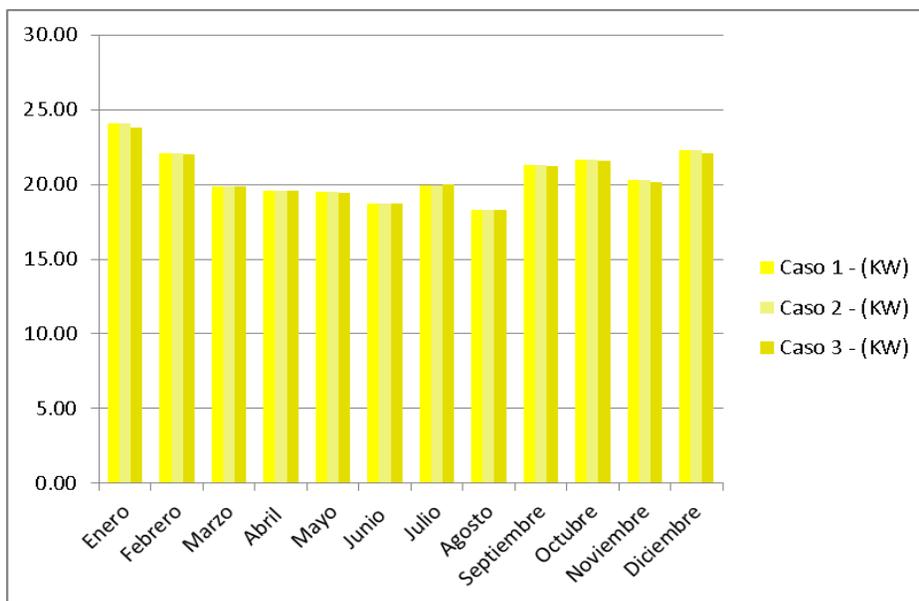
**Gráfico 3.26 Comparativo caso base caso 1,2y 3 Ganancias solares anuales.**

Fuente: Propia.



**Gráfico 3.27 Comparativo caso base caso 1,2y 3 Ganancias solares mensuales.**

Fuente: Propia.

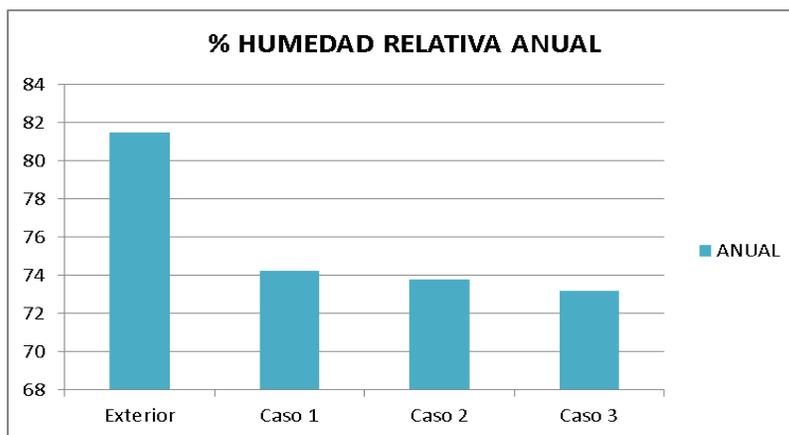


*Humedad relativa*

La humedad relativa anual del exterior es de 81.49%, en los tres casos la humedad relativa se encuentra por encima del 70%, donde lo requerido para el proceso de secado del grano es entre 50% y 70% sin embargo en el caso 3 es menor, caso 1 con 74.21%, caso 2 con 73.78% y caso 3 con 73.17%. Durante los meses del año la humedad relativa se encuentra por encima del 70% con mayor porcentaje en los tres casos en abril, mayo y noviembre, y el más bajo en julio de igual manera en los tres casos.

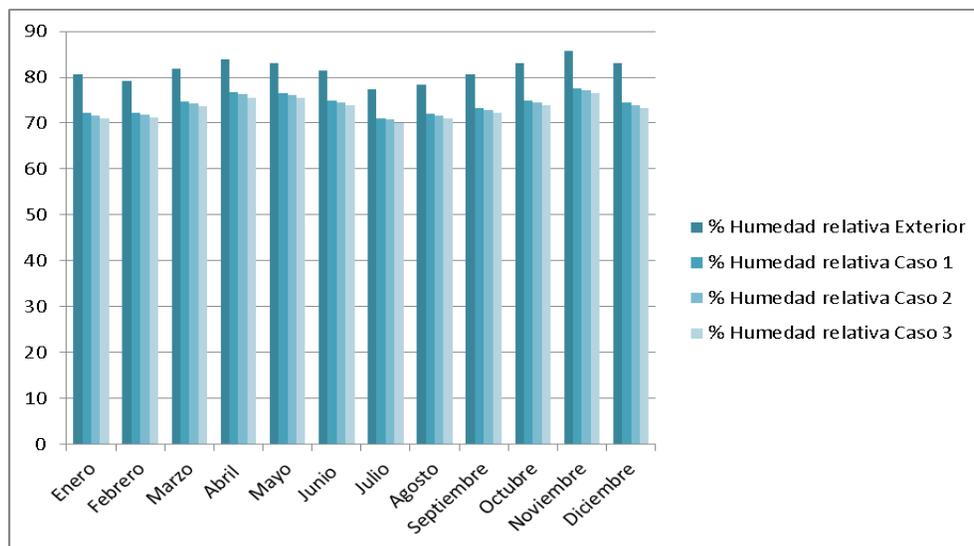
**Grafico 3.28 Comparativo caso base caso 1,2y 3 Humedad relativa anual.**

Fuente: Propia.



**Grafico 3.29 Comparativo caso base caso 1,2y 3 Humedad relativa mensuales.**

Fuente: Propia.

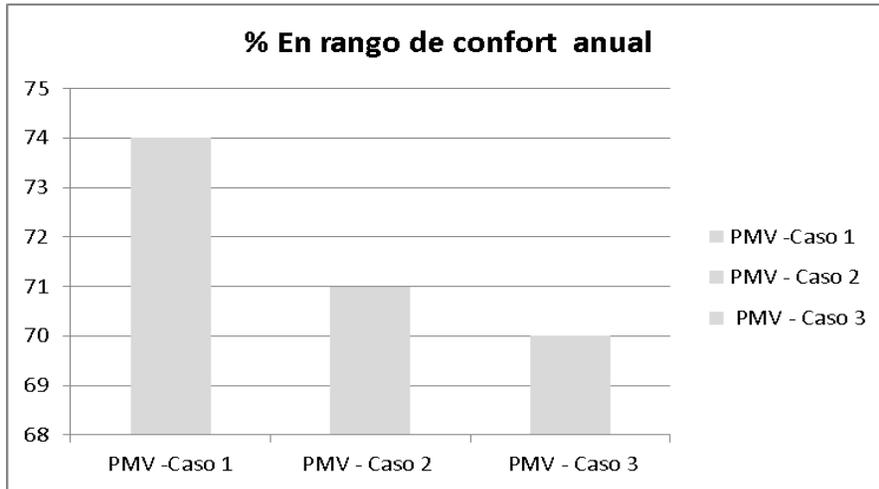


*Índice de confort*

En cuanto al índice de confort el que presenta mejor porcentaje anual es el caso 1 con el 74%, el caso 2 con el 71% y el caso 3 con el 70%. Esto se debe a que en los casos 2 y 3 se presenta más horas de sobrecalentamiento especialmente en el 3.

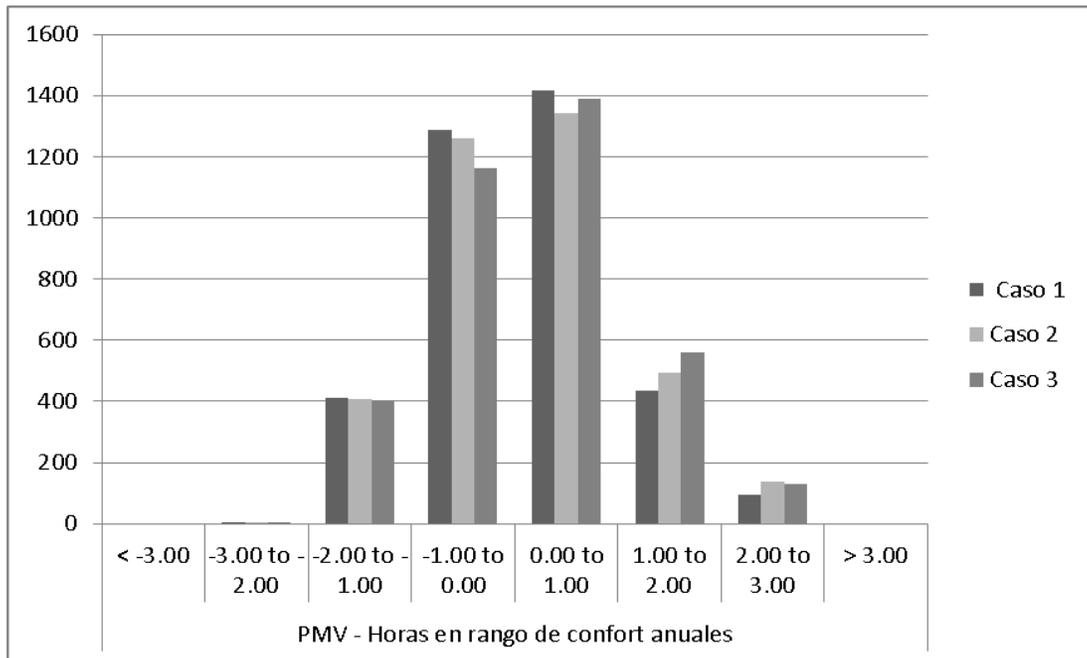
**Grafico 3.30 Comparativo caso base caso 1,2y 3 % en rango de confort anual.**

Fuente: Propia.



**Grafico3.31 Comparativo caso base caso 1,2y 3 % en rango de confort mensual.**

Fuente: Propia.



### 3.2 Caso mejorado

#### 3.2.1 Estrategias pasivas a implementar

Las estrategias pasivas que se plantean a continuación pretenden cumplir con la necesidad de mejorar el proceso de secado de los granos de la quinua el cual es constante y requiere de regulación de la temperatura y humedad relativa tanto en el día como en la noche. De la misma manera se busca generar confort térmico a los trabajadores con horarios laborales de lunes a domingo entre las 8:00 a las 18:00. Que según lo analizado para el cumplimiento de estos dos requerimientos se establece un rango de temperatura entre los 20°C a 25°C y una humedad relativa entre el 50% y 70%. El fin del invernadero es que en el día se logre mantener la temperatura adecuada para el secado y de la misma manera mejorar el confort térmico para los trabajadores y en la noche que se reduzca la diferencia entre la temperatura más alta del día y la más baja.

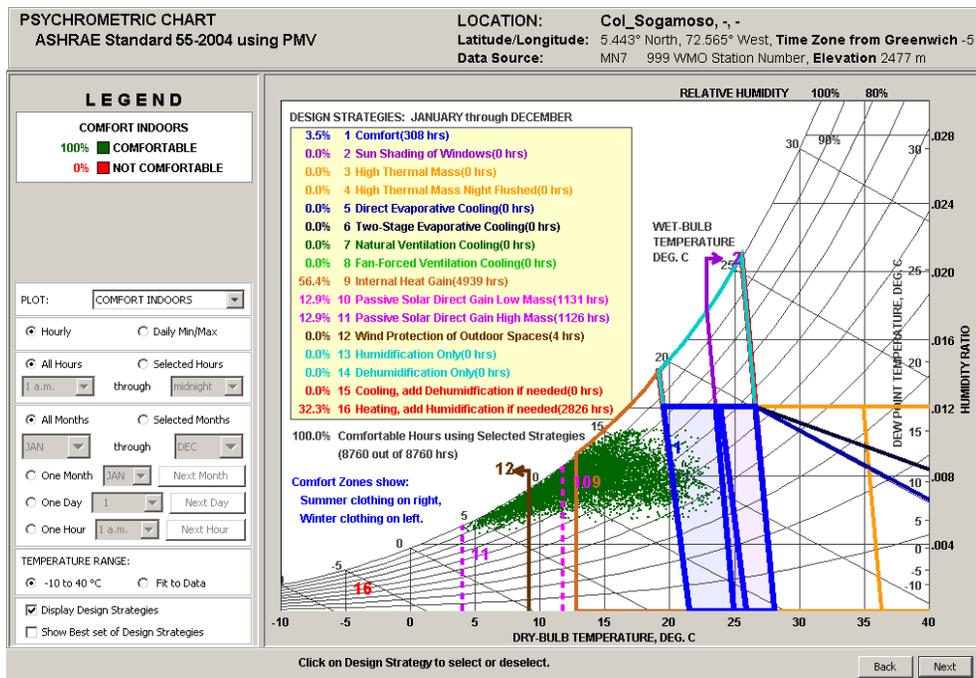
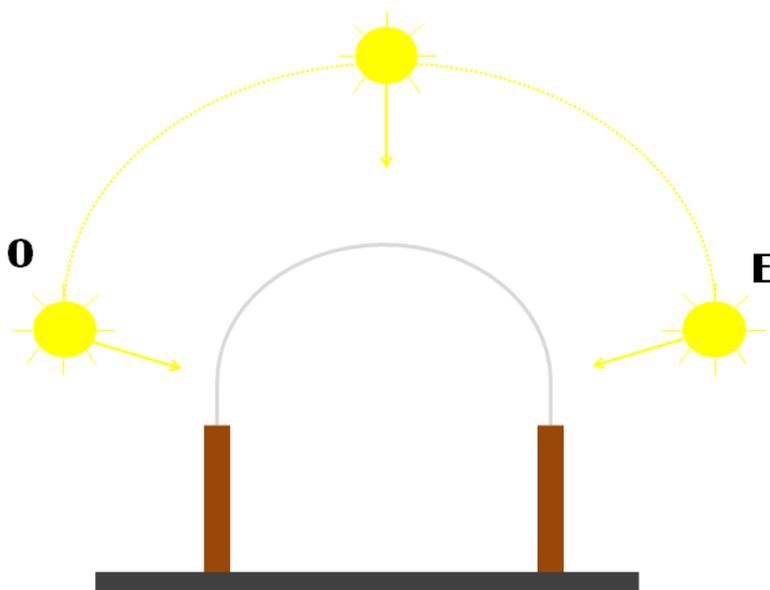


Figura 3.7 Tabla psicrométrica.

Fuente: IES.

En base en las condiciones de la tabla psicrométrica se observa que con una humedad relativa entre 50% y 70% con una temperatura entre 20°C a 25°C se encuentra dentro de la zona de confort y se determina que los diseños de las estrategias pasivas a implementar son:

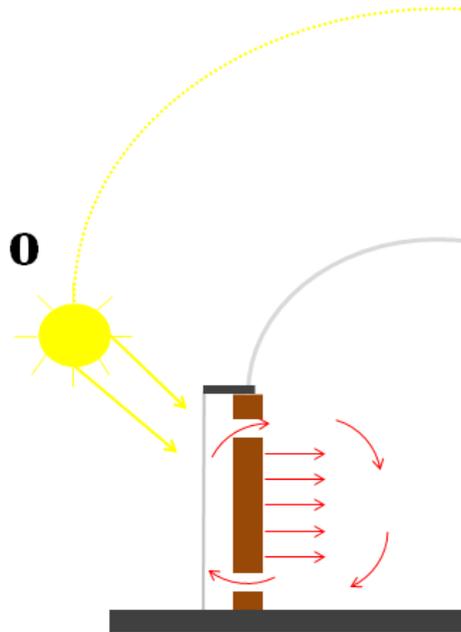
- Aumentar las ganancias solares a través del mejoramiento de la forma de la cubierta, la cual permite mayor captación ya que se propone circular en forma abovedada y conservando la orientación final del caso base – caso 3, la cual corresponde con el norte a 0°, recibiendo radiación solar durante todo el día en dirección este oeste.



**Figura 3.8 Estrategia pasiva para aumentar las ganancias solares.**

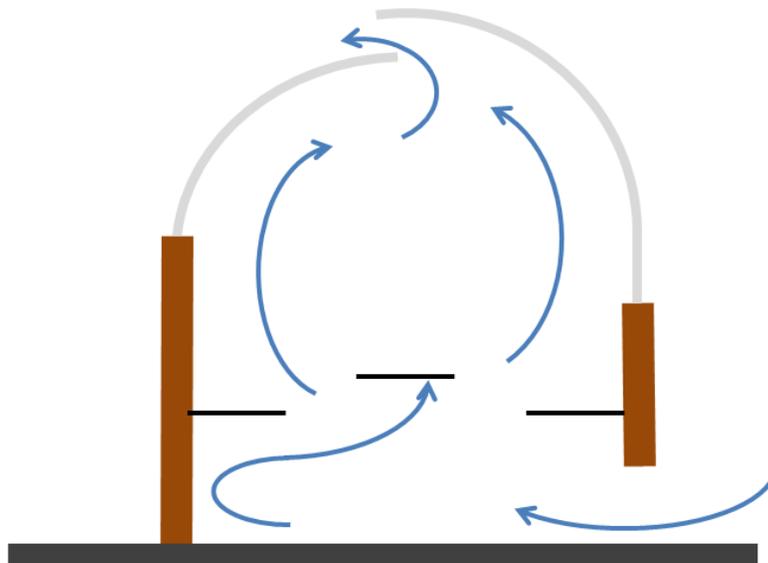
Fuente: Propia.

- Mejorar la envolvente térmica implementando masa térmica o materiales con alta inercia térmica como el BTC bloque de tierra comprimida para mantener el calor generado en el interior. De la misma manera se implementan materiales en la cubierta para la captación de calor durante el día.
- Calefacción pasiva indirecta a través de muro captador y acumulador, como es el muro trombe que se propone en la fachada hacia el poniente de tal manera que en la tarde capte y almacene calor para ser distribuido en la noche y amanecer donde se presentan las temperaturas más bajas.



**Figura 3.9 Estrategia pasiva para calefacción.**  
Fuente: Propia.

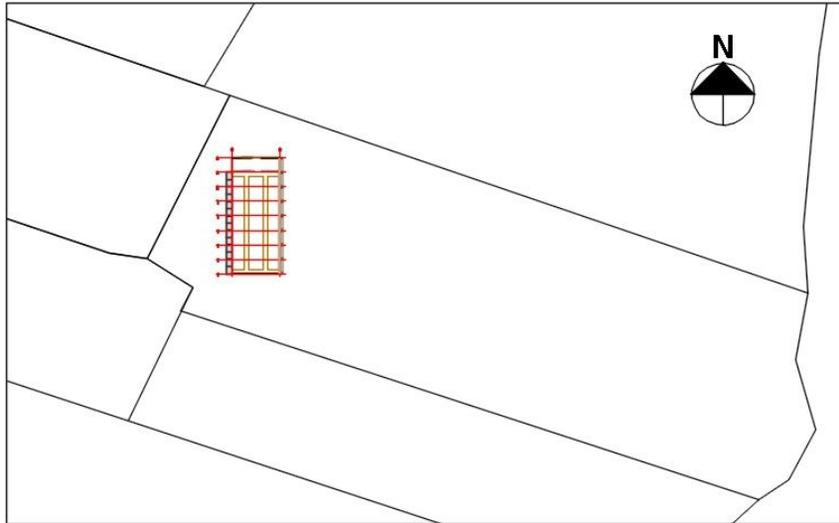
- La estrategia de ventilación natural inducida se realiza en base a la modificación de la geometría de la cubierta y la estrategia de calefacción del invernadero. La abertura de entrada se localizará en la parte baja para que el aire frío entre en el espacio empujando el aire caliente hacia arriba y así salir por la cubierta.



**Figura 3.10 Estrategia de ventilación natural.**  
Fuente: Propia.

**Planimetría**

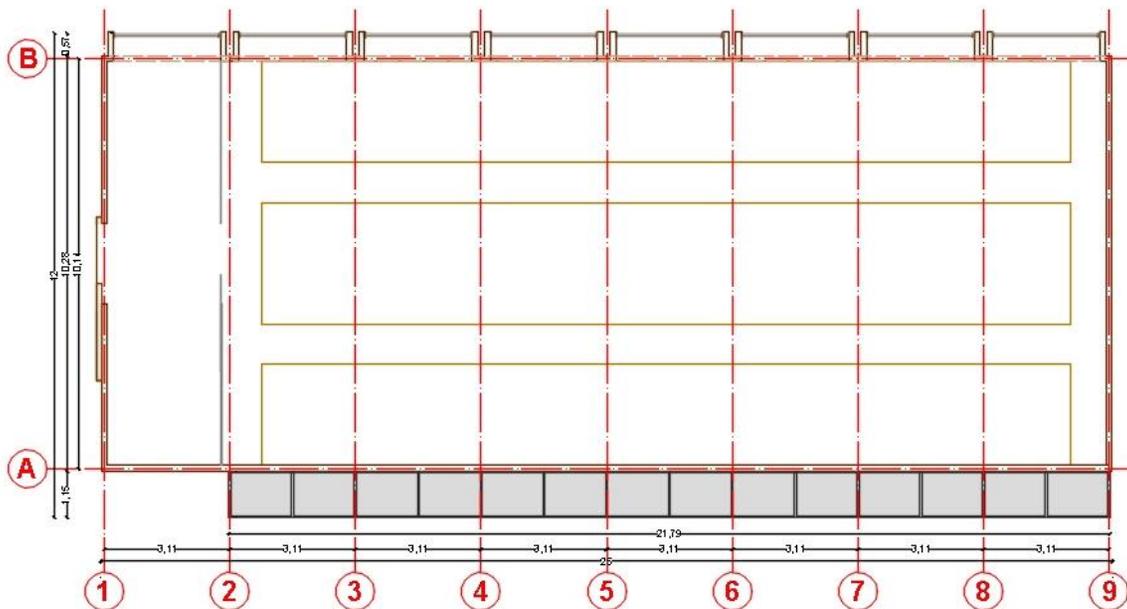
La implementación de las estrategias pasivas se desarrolla conservando la localización a 0° Norte, aprovechando la asoleación durante el día este – oeste, y conservando la misma localización inicial ya que no presenta obstáculos que impidan la asoleación y el paso del viento.



**Figura 3.11 Localización del invernadero dentro del emplazamiento.**

Fuente: Propia.

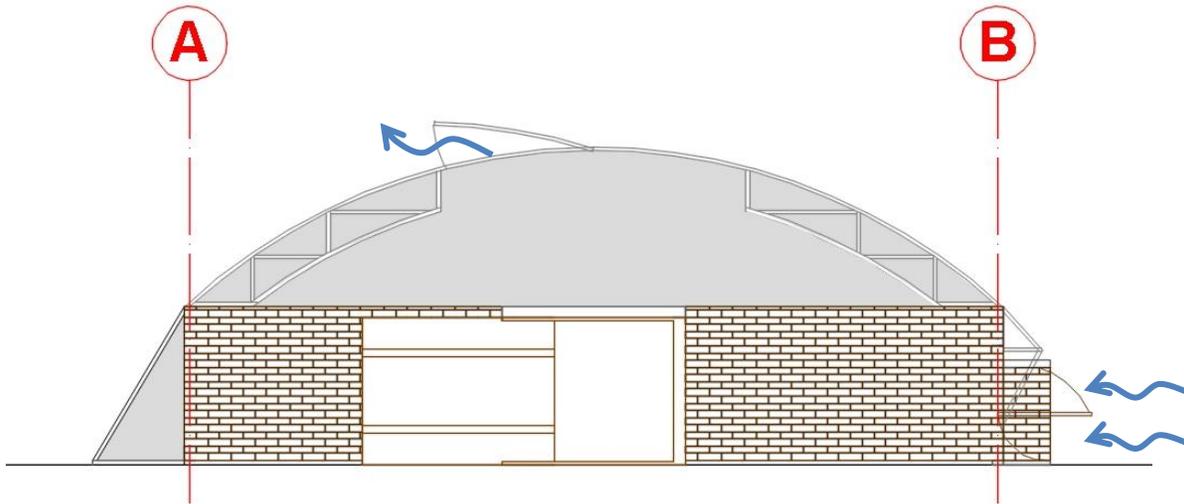
La planta arquitectónica conserva la misma distribución del caso base las dimensiones se amplían a 12.00 m por 25.00 m, teniendo en cuenta que el espesor de los muros genera mayor área.



**Figura 3.12 Planta arquitectónica del invernadero caso mejorado.**

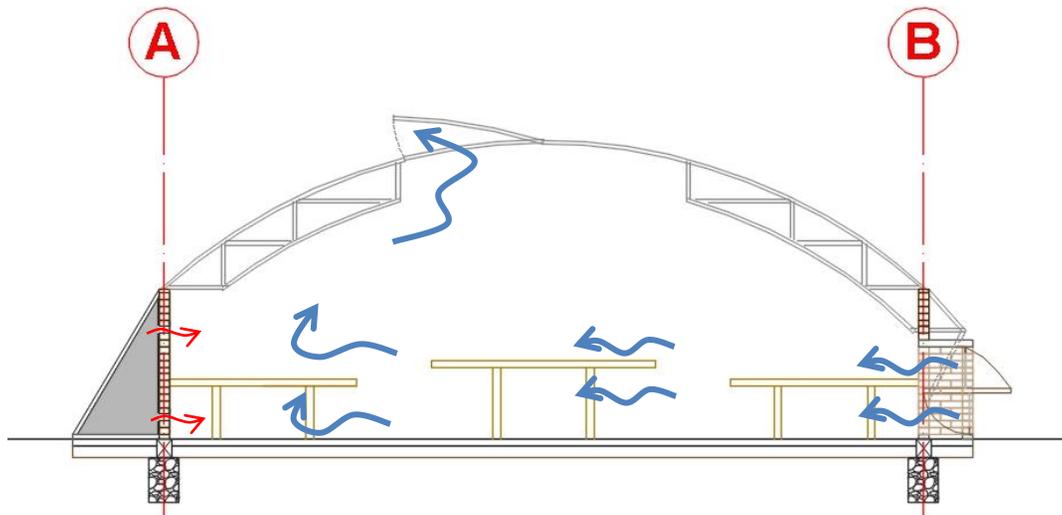
Fuente: Propia.

En la fachada principal se puede ver la cubierta curva, la morfología del muro trombe y la entrada de aire donde se establecen ventanas batientes en madera sin vidrio, y la salida a través de la cubierta por una abertura plegable.



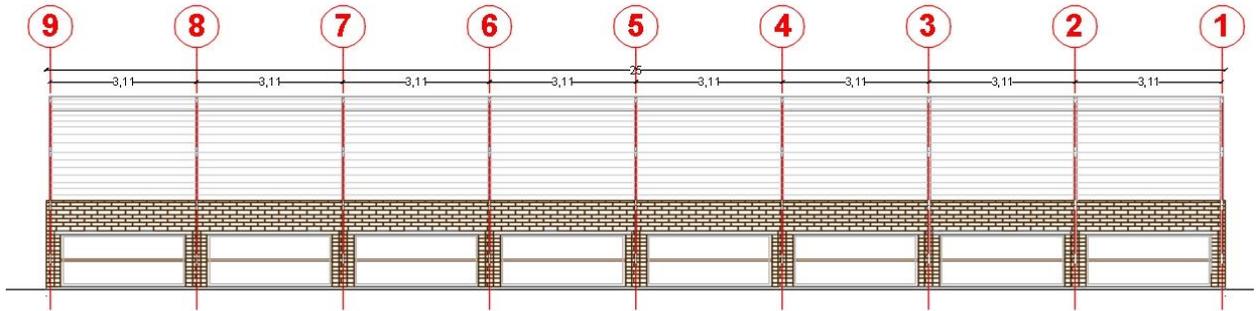
**Figura 3.13 Fachada norte y sur caso mejorado.**  
Fuente: Propia.

En el corte transversal se puede ver la entrada, paso y salida del aire, de la misma manera la entrada del aire caliente por las aberturas del muro trombe.



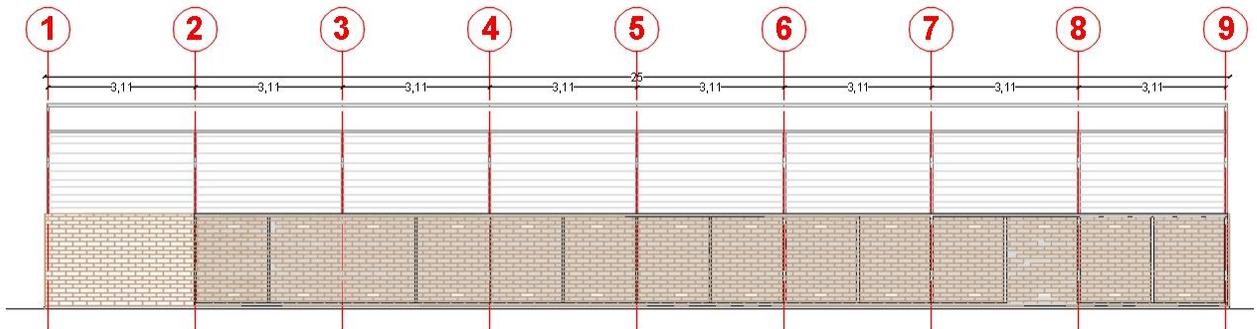
**Figura 3.14 Corte transversal caso mejorado.**  
Fuente: Propia.

En la fachada este se ubican las aberturas de entrada de aire a lo largo de la longitud del invernadero.

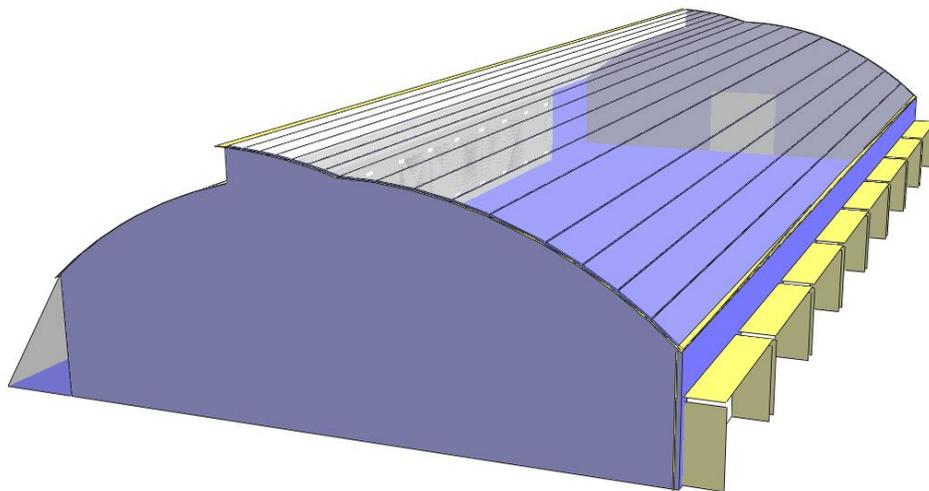


**Figura 3.15 Fachada este caso mejorado.**  
Fuente: Propia.

En la fachada poniente se ubica el muro trombe a partir del eje 2 al 9, y según la altura del muro.



**Figura 3.16 Fachada poniente caso mejorado.**  
Fuente: Propia.



**Figura 3.17 Vista 3D caso mejorado.**  
Fuente: Propia.

Tabla 3.22 Cálculo de áreas de abertura e índice de renovación caso mejorado.

Fuente: Propia.

Invernadero de secado (Caso Mejorado)	Volumen de aire (m <sup>3</sup> )	Caudal de ventilación (Q - m <sup>3</sup> /s)	Velocidad del viento (m/s) Dato climático	Área de abertura (m <sup>2</sup> )	Índice de renovación (m <sup>3</sup> /h)
	838.51	50	2.3	21.74	215

Para este caso se implementan los siguientes materiales con el fin de mejorar la envolvente térmica:

Tabla 3.23 Materiales envolvente invernadero caso mejorado.

Fuente: Propia.

Materiales	Conductividad W/m <sup>2</sup> K
Placa de Concreto de 20 cm espesor	1.0460
BTC – Bloque de tierra comprimida.	0.870
Policarbonato	5.7
Vidrio – cristal	3.6

### 3.2.2 Simulación de casos

Se realizan 2 simulaciones del caso mejorado para analizar el comportamiento de las estrategias pasiva propuestas las cuales son: Aumento de las ganancias solares, mejoramiento de la envolvente térmica, calefacción pasiva indirecta y ventilación natural inducida. El horario de funcionamiento sigue igual al caso base de lunes a domingo de 8:00 a 18:00, de la misma manera la orientación norte 0°. La herramienta que se utiliza para la simulación es IES Virtual Environment, y archivo climático de Sogamoso. Se calcula la temperatura, ganancias solares, humedad relativa, y el índice de confort.

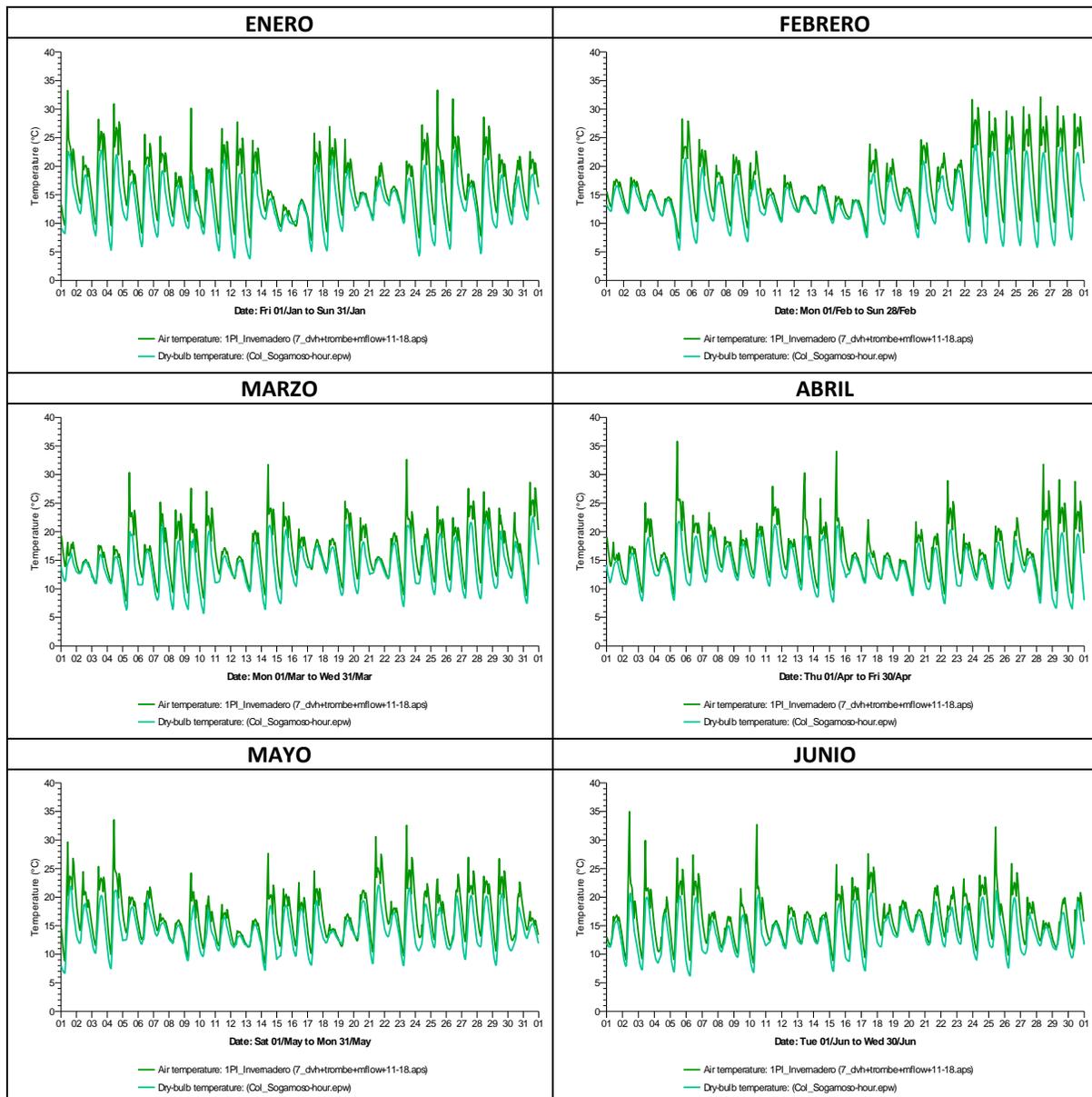
#### A. Caso A

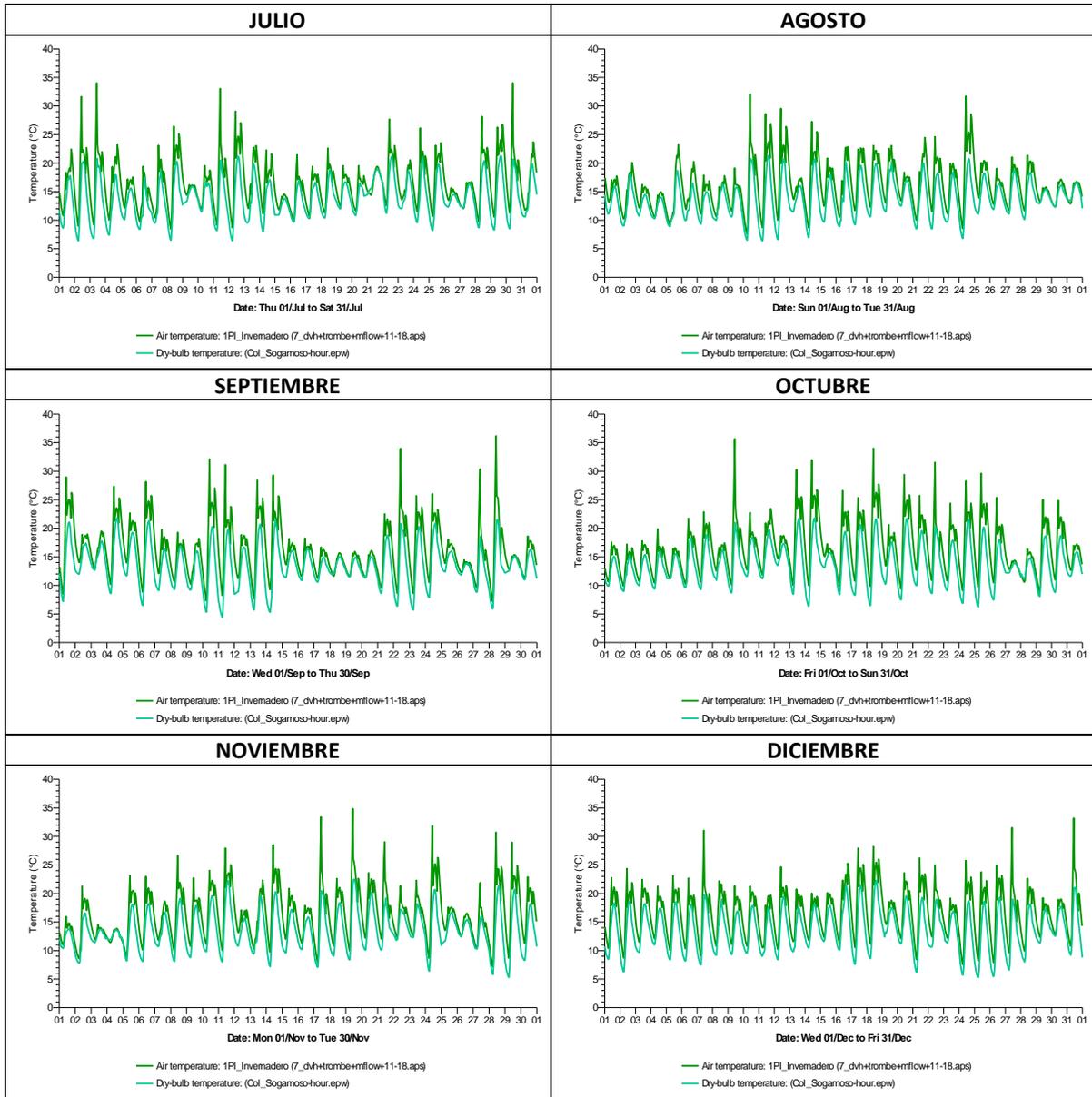
La primera simulación del caso mejorado se realiza bajo las características ya definidas en las estrategias pasivas, donde se establece un horario de ocupación laboral de lunes a domingo desde las 8.00 a las 18:00. El área de las aberturas al 100% y funcionamiento desde las 11:00 a las 18:00.

Temperatura

El mes que presenta la temperatura media más alta al interior del invernadero es febrero con 16.91 °C y agosto la más baja con 16.28°C. El día que se presenta la mayor temperatura al interior es el 22 de febrero a las 10:30 horas con 31.36°C y en el exterior 18.20°C. El día con la temperatura más baja interior es el 11 de septiembre a las 05:30 horas con 8.25°C teniendo en el exterior 4.5°C.

**Grafico 3.32 Temperatura interior mensual caso mejorado – caso A.**  
Fuente: Propia.





**Tabla 3.24 Temperatura interior mensual caso mejorado – caso A.**

Fuente: Propia.

Temperatura			
1PI_Invernadero (7_dvh+trombe+mflow+11-18.aps)			
MES	Tº Máxima	Tº Mínima	Tº Media
Enero	33.32	7.01	16.79
Febrero	32.08	7.34	16.91
Marzo	32.62	7.83	16.71
Abril	35.80	8.64	16.66
Mayo	33.53	8.45	16.90
Junio	34.95	8.48	16.32
Julio	34.05	8.47	16.59
Agosto	32.09	7.59	16.28
Septiembre	36.19	7.15	16.38
Octubre	35.68	8.74	16.83
Noviembre	34.88	7.18	16.42
Diciembre	33.22	7.55	16.86
ANUAL	34.03	7.87	16.64

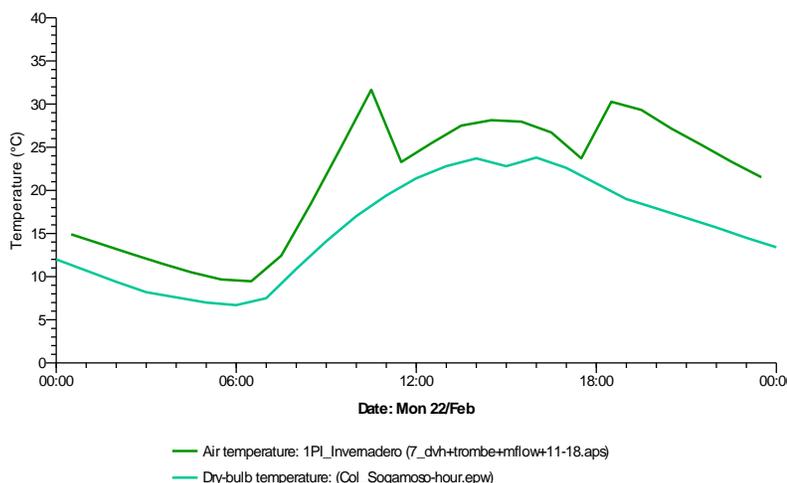
**Tabla 3.25 Día más caluroso caso mejorado – caso A.**

Fuente: Propia.

Día y hora con la temperatura más alta				
	Peak Date	Peak Time	Dry-bulb temperature (°C)	Air temperature (°C)
Invernadero	22-feb	10:30	18.20	31.36

**Grafico 3.33 Día más caluroso caso mejorado – caso A.**

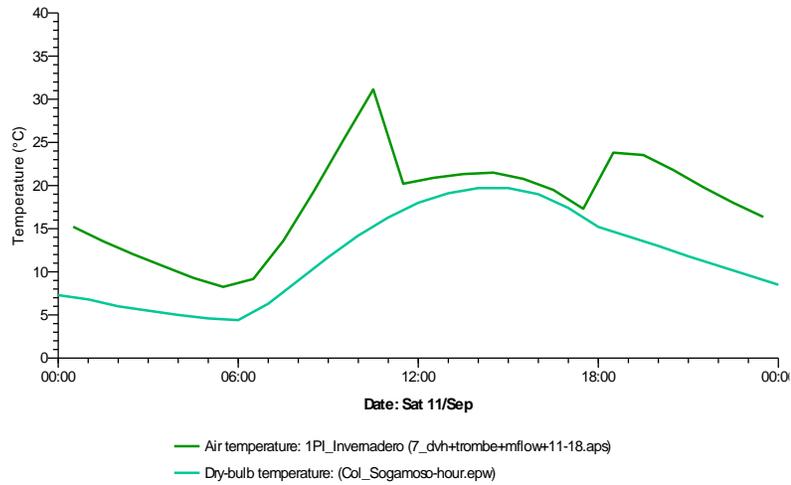
Fuente: Propia.



**Tabla 3.26 Día con la temperatura más baja caso mejorado – caso A.**  
Fuente: Propia.

Día y hora con la temperatura más baja				
	Peak Date	Peak Time	Dry-bulb temperature (°C)	Air temperature (°C)
Invernadero	11-sep	05:30	4.5	8.25

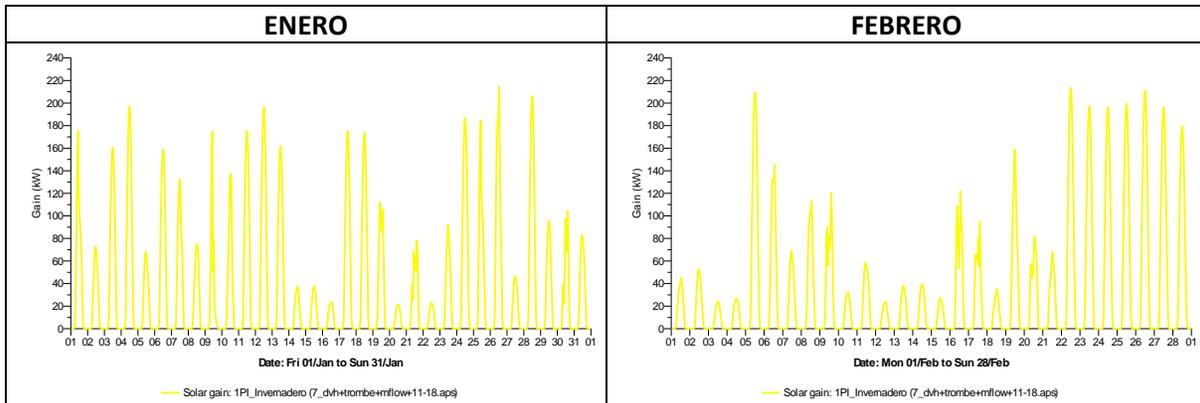
**Grafico 3.34 Día con la temperatura más baja caso mejorado – caso A.**  
Fuente: Propia.

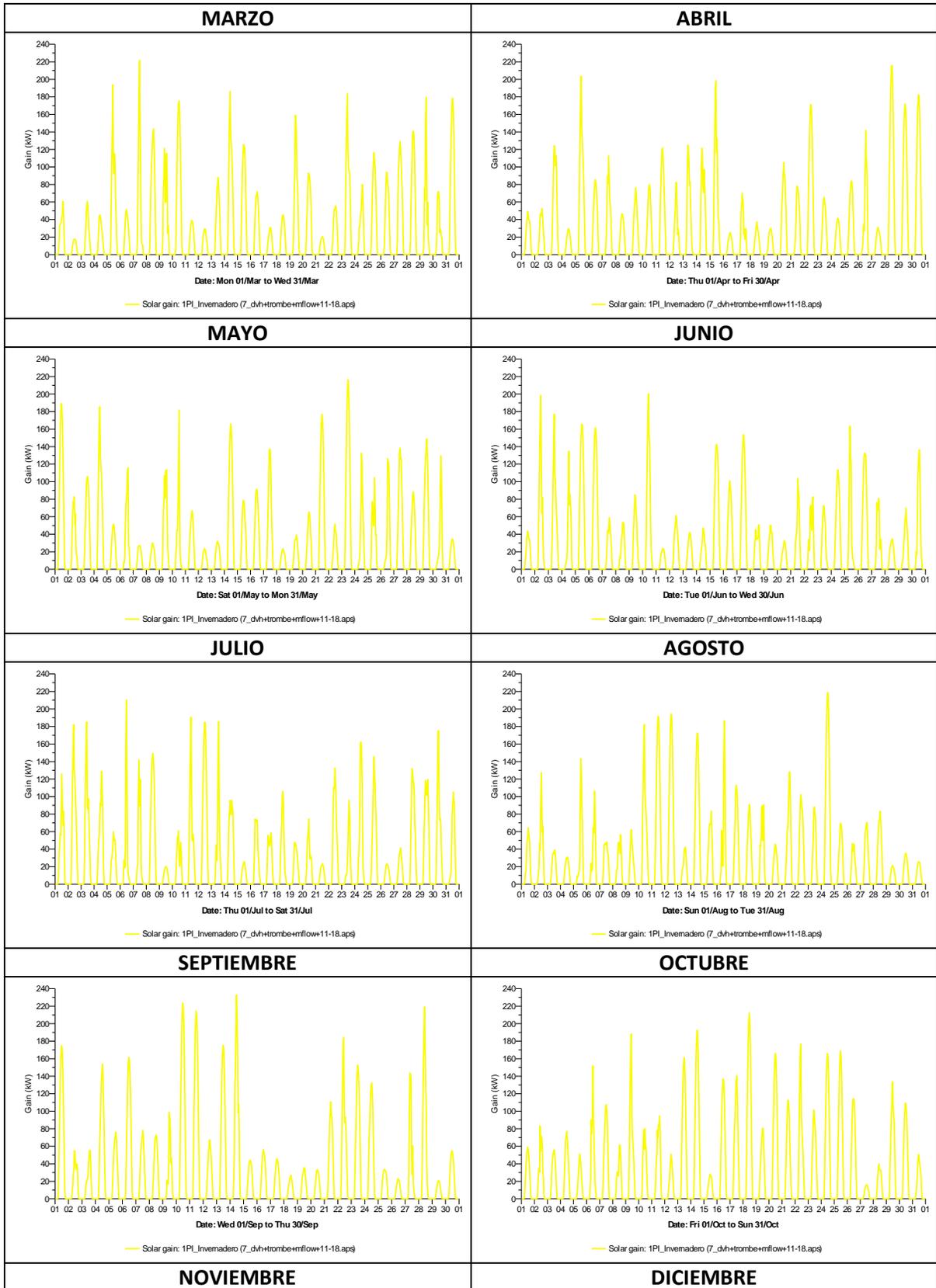


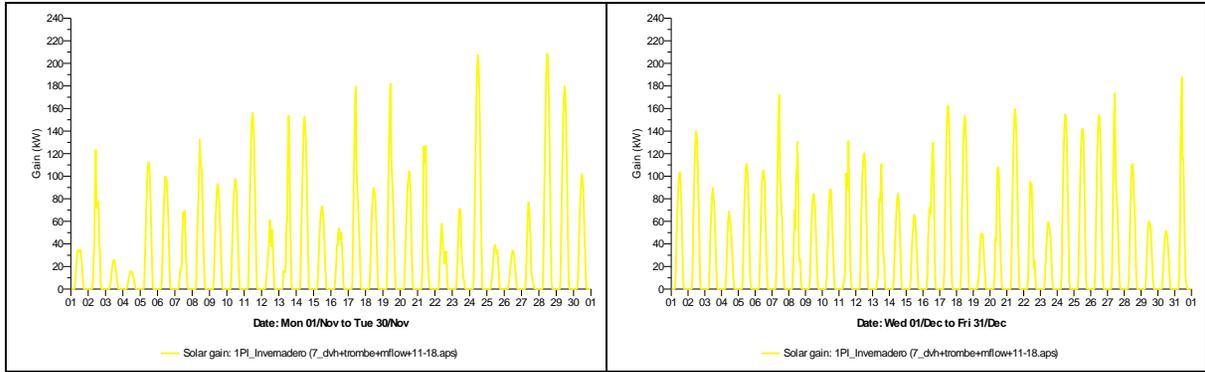
*Ganancia Solar*

El mes donde se presenta la mayor ganancia solar media es enero con 33.91 KW, y el mes donde se presenta la menor es agosto con 26.00 KW.

**Grafico 3.35 Ganancias solares mensuales caso mejorado – caso A.**  
Fuente: Propia.







**Tabla 3.27 Ganancias solares anuales caso mejorado – caso A.**

Fuente: Propia.

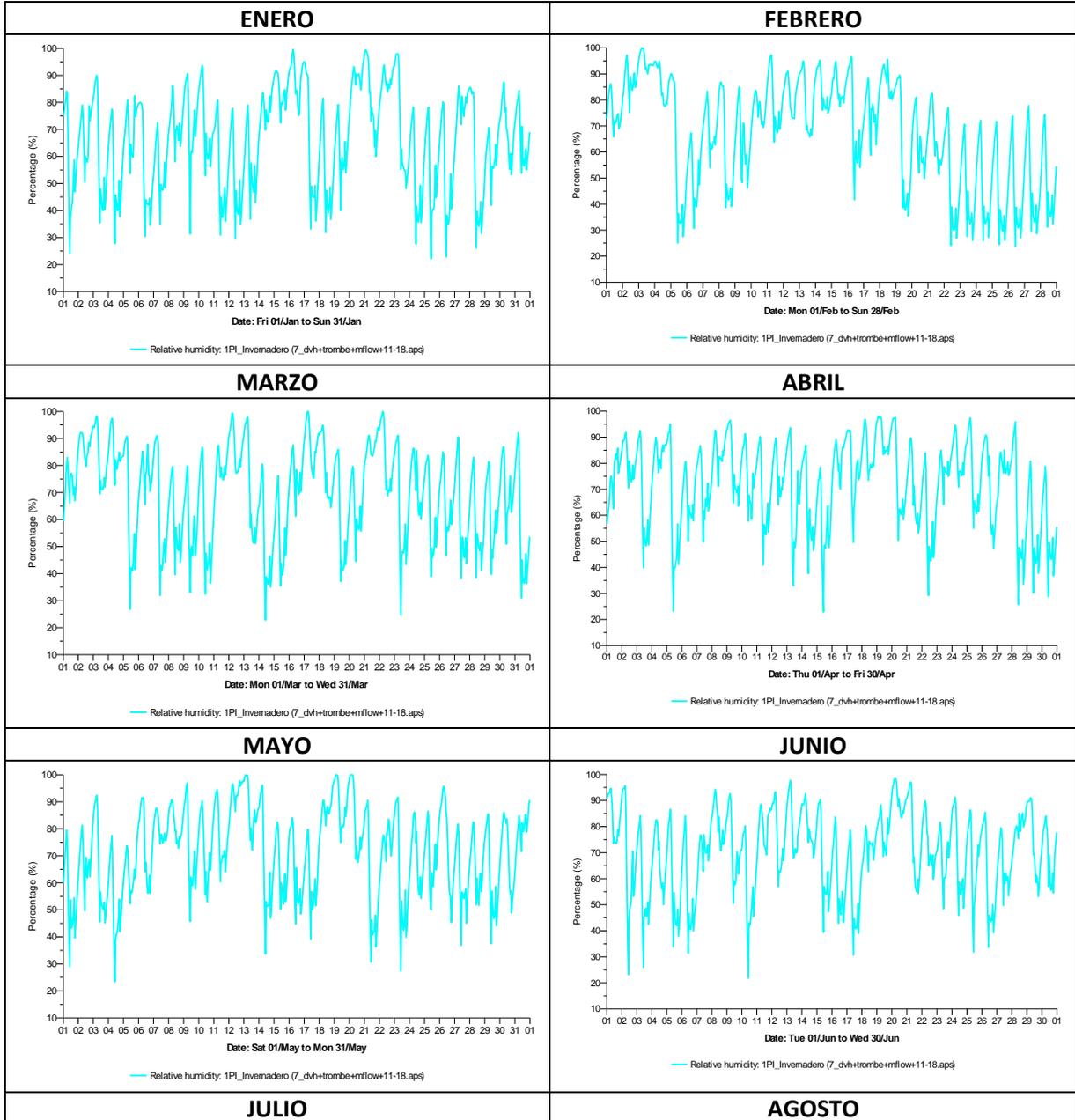
<b>Ganancias solares</b>	
<b>1PI_Invernadero (7_dvh)</b>	
<b>MES</b>	<b>(KW) media</b>
<b>Enero</b>	<b>33.91</b>
Febrero	31.24
Marzo	27.89
Abril	27.62
Mayo	27.63
Junio	26.56
Julio	28.52
<b>Agosto</b>	<b>26.00</b>
Septiembre	29.96
Octubre	30.50
Noviembre	28.61
Diciembre	31.39
<b>ANUAL</b>	<b>29.15</b>

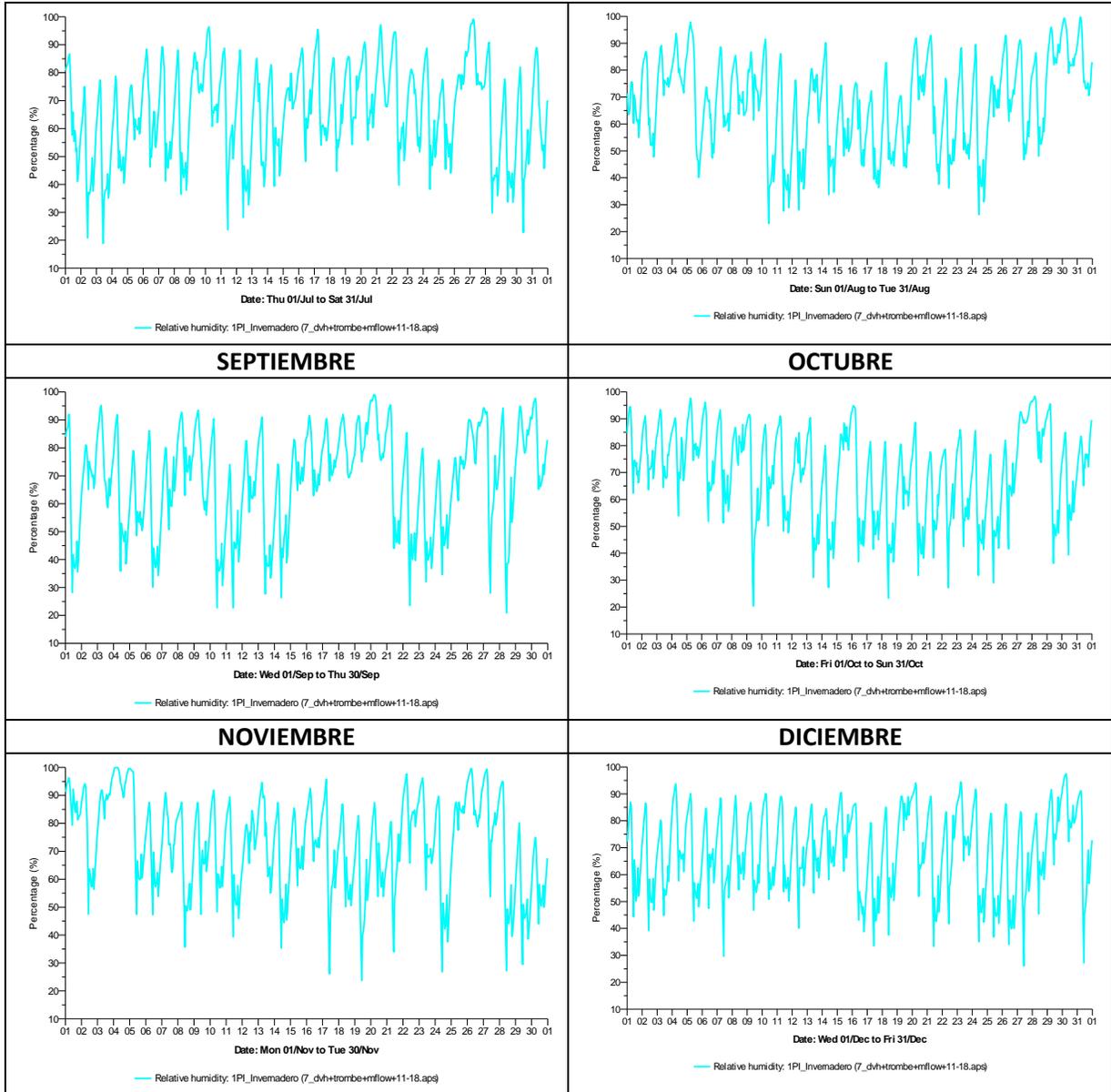
*Humedad relativa*

El mes donde se presenta la mayor humedad es en noviembre con el 72.56%, y el mes con la menor humedad es julio con 65.83%.

**Grafico 3.36 Humedad relativa mensual caso mejorado – caso A.**

Fuente: Propia.





**Tabla 3.28 Humedad relativa anual caso mejorado – caso A.**

Fuente: Propia.

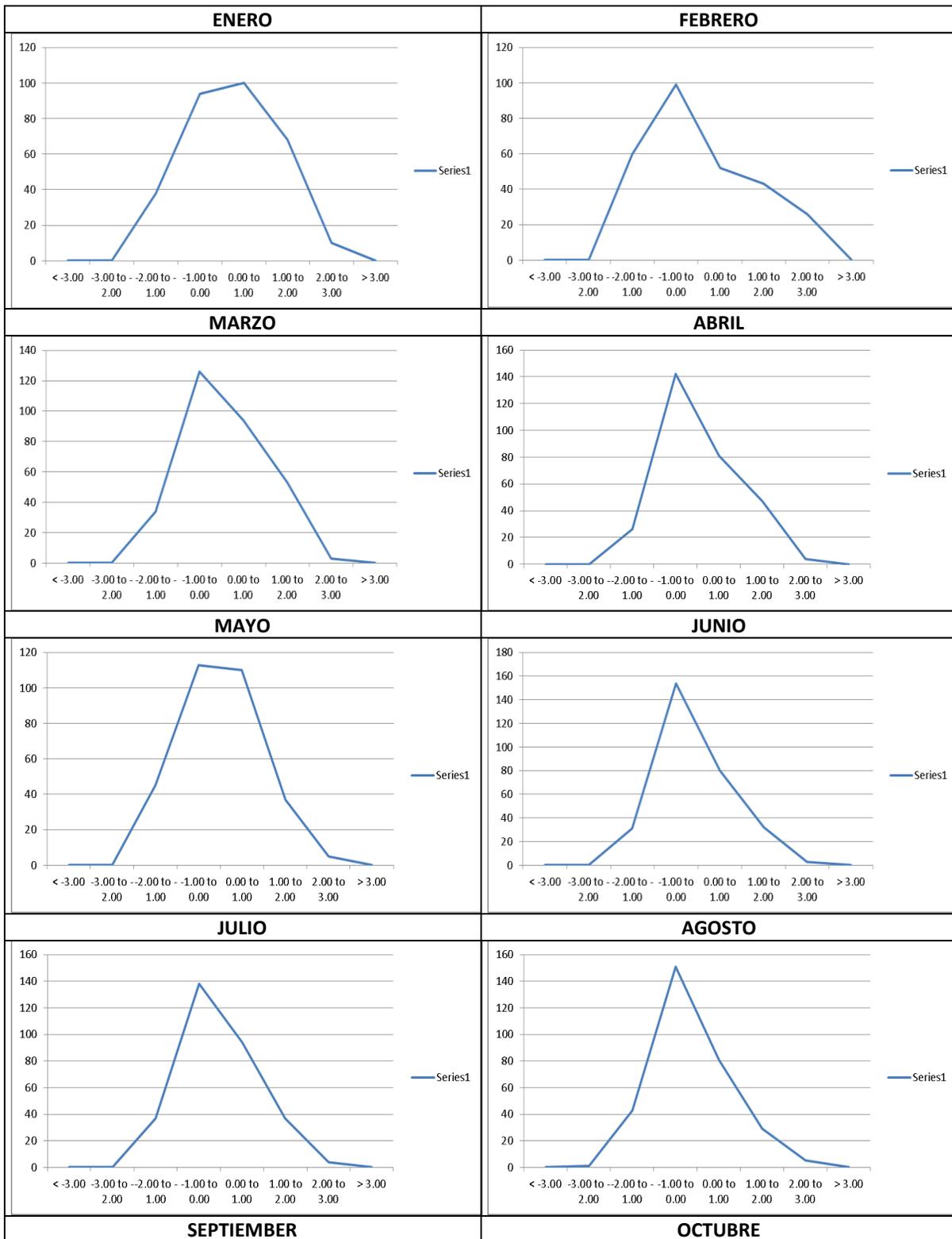
<b>Humedad relativa 1PI_Invernadero (7_dvh)</b>	
<b>MES</b>	<b>(%) medio</b>
Enero	66.06
Febrero	66.99
Marzo	69.82
Abril	72.04
Mayo	71.19
Junio	70.20
Julio	65.83
Agosto	67.42
Septiembre	68.41
Octubre	69.42
Noviembre	72.56
Diciembre	68.54
ANUAL	69.04

*Índice de confort*

El análisis de índice de confort se realiza de lunes a domingo durante las horas de las 8:00 a las 18:00 en total 10 horas diarias y un total anual de 3650 horas como 100% según la ocupación del invernadero, donde se encuentra que en el año se presenta disconfort por temperaturas bajas con 0.027% en la escala -3 a -2 correspondiente a 1 hora en el mes de agosto, con un porcentaje mayor en escala -2 a -1 de 11.84% con 432 horas de enero a diciembre. Las horas dentro del confort en escala -1 a 0 es del 41.37% con 1510 horas y en escala 0 a 1 es de 30.03% con 1096 horas estos dos durante los meses de enero a diciembre, para un total de **71.40% de confort** igual a 2606 horas. En cuanto al disconfort por altas temperaturas en escala de 1 a 2 es de 14.33% correspondiente 523 horas y en escala 2 a 3 es de 2.41% con 88 horas que en los dos casos se presentan de enero a diciembre.

**Grafico 3.37 Índice de confort mensual caso mejorado – caso A.**

Fuente: Propia.



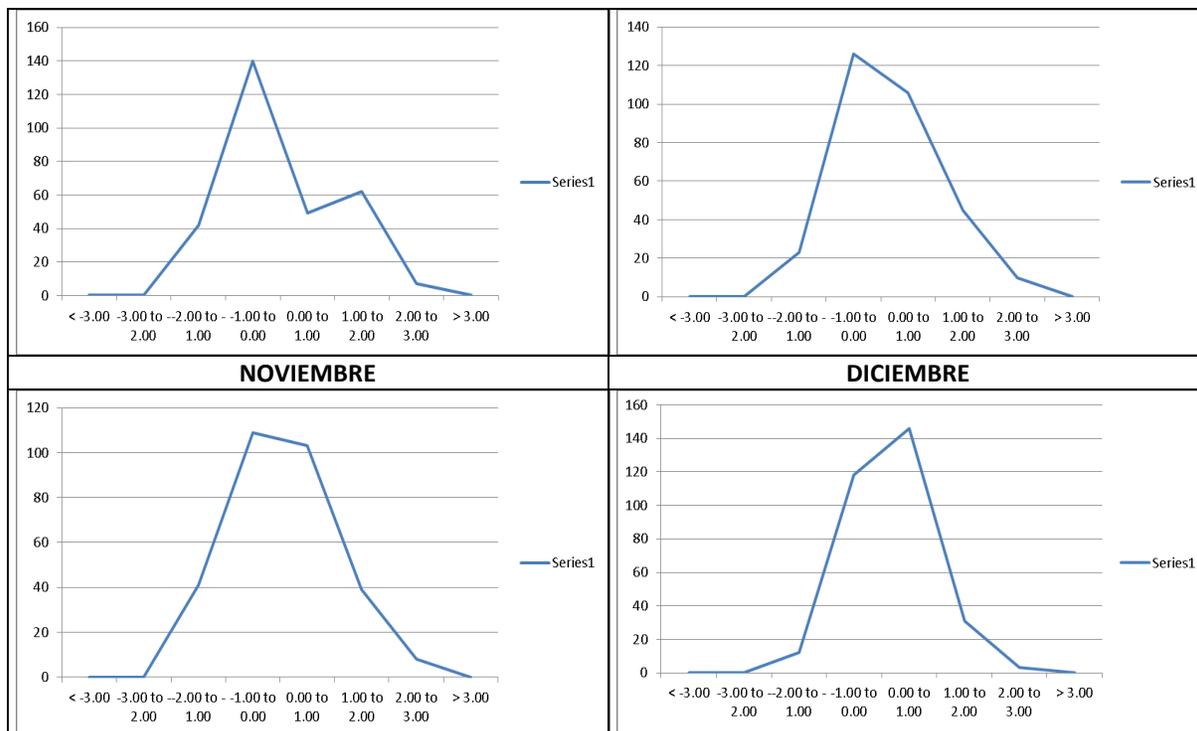


Tabla 3.29 Índice de confort anual caso mejorado – caso A.

Fuente: Propia

File	Location	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range
7_dv h	1PI_Invernadero	< -3.00	-3.00 to -2.00	-2.00 to -1.00	-1.00 to 0.00	0.00 to 1.00	1.00 to 2.00	2.00 to 3.00	> 3.00
ENERO		0	0	38	94	100	68	10	0
FEBRERO		0	0	60	99	52	43	26	0
MARZO		0	0	34	126	94	53	3	0
ABRIL		0	0	26	142	81	47	4	0
MAYO		0	0	45	113	110	37	5	0
JUNIO		0	0	31	154	80	32	3	0
JULIO		0	0	37	138	94	37	4	0
AGOSTO		0	1	43	151	81	29	5	0
SEPTIEMBRE		0	0	42	140	49	62	7	0
OCTUBRE		0	0	23	126	106	45	10	0
NOVIEMBRE		0	0	41	109	103	39	8	0
DICIEMBRE		0	0	12	118	146	31	3	0
TOTAL ANUAL		0	1	432	1510	1096	523	88	0

B. Caso B

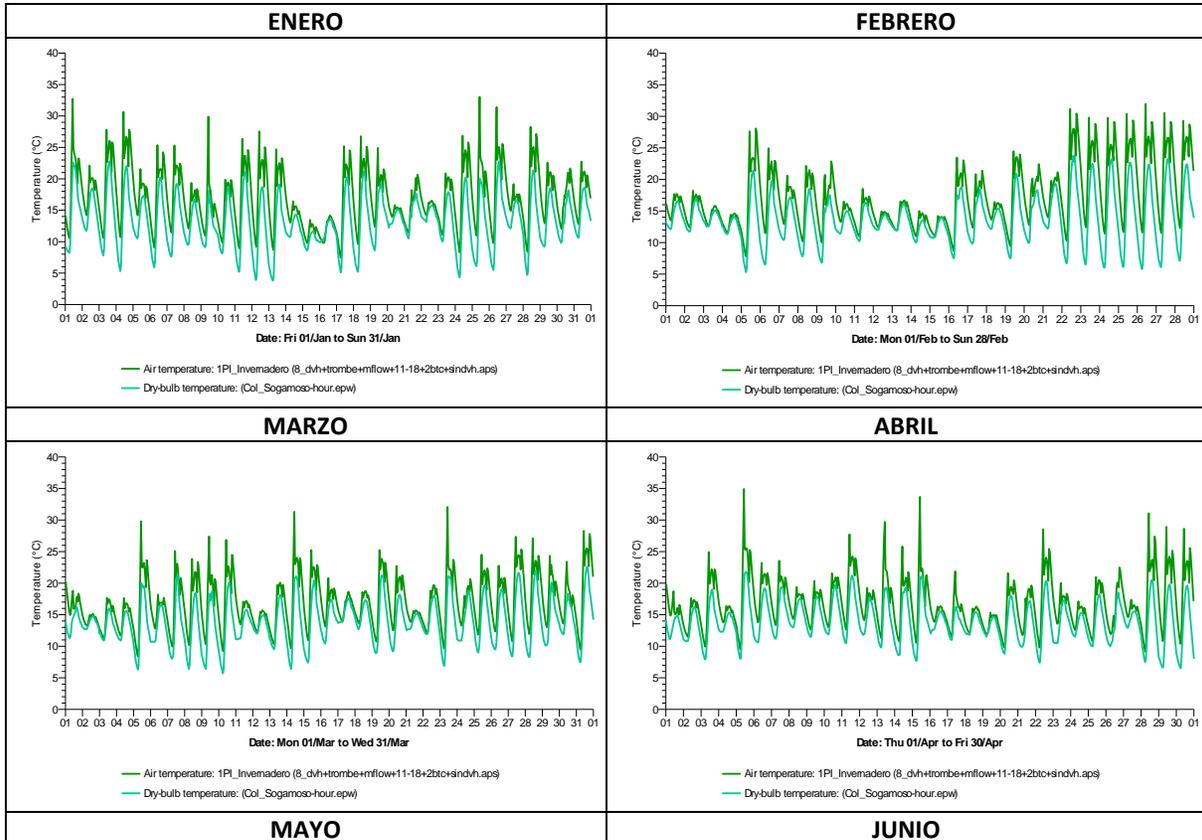
La segunda simulación del caso mejorado se realiza con las mismas características del caso A mejorado, sin embargo, se implementa doble muro con el fin de aumentar la masa térmica, se establece un horario de ocupación laboral de lunes a domingo desde las 8.00 a la 18:00. El área de las aberturas al 100% y con un funcionamiento 11:00am a las 18:00.

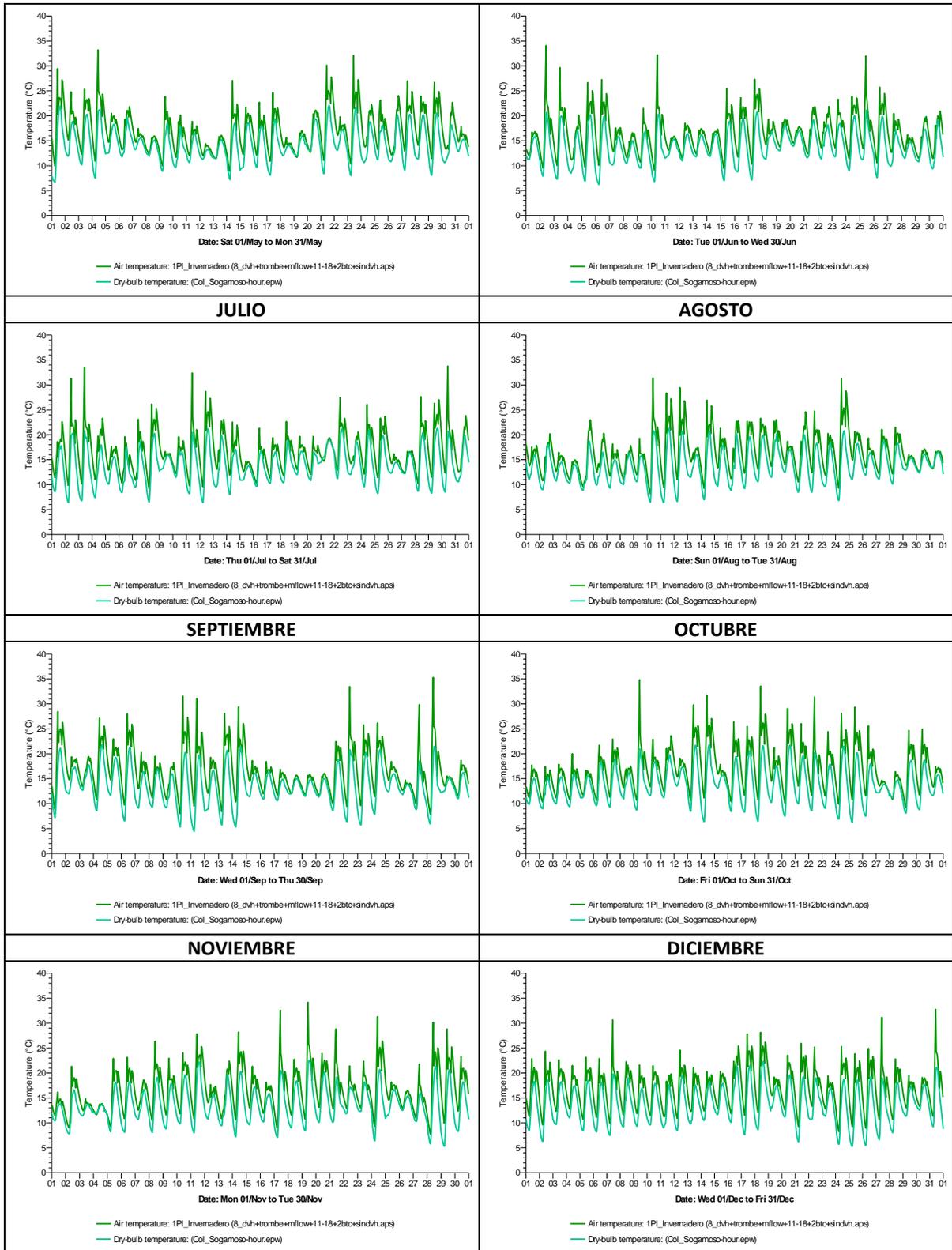
*Temperatura*

El mes que presenta la temperatura media más alta al interior del invernadero es febrero con 17.27 °C y agosto la más baja con 16.59°C. El día que se presenta la mayor temperatura al interior es el 22 de febrero a las 10:30 horas con 31.16°C y en el exterior 18.20°C. El día con la temperatura más baja interior es el 11 de septiembre a las 05:30 horas con 9.52°C teniendo en el exterior 4.5°C.

**Gráfico 3.38 Temperatura interior mensual caso mejorado – caso B.**

Fuente: Propia.





**Tabla 3.30 Temperatura interior anual caso mejorado – caso B.**

Fuente: Propia.

Temperatura			
1PI_Invernadero (8_dvh+trombe+mflow+11-18.aps)			
MES	Tº Máxima	Tº Mínima	Tº Media
Enero	33.03	4.43	17.18
Febrero	31.93	7.79	17.27
Marzo	32.07	8.39	17.04
Abril	34.93	9.15	16.96
Mayo	33.21	8.87	17.22
Junio	34.10	9.10	16.63
Julio	33.79	9.18	16.90
Agosto	31.39	8.17	16.59
Septiembre	35.32	7.85	16.69
Octubre	34.82	9.20	17.17
Noviembre	34.18	7.76	16.75
Diciembre	32.74	8.28	17.23
ANUAL	33.46	8.18	16.97

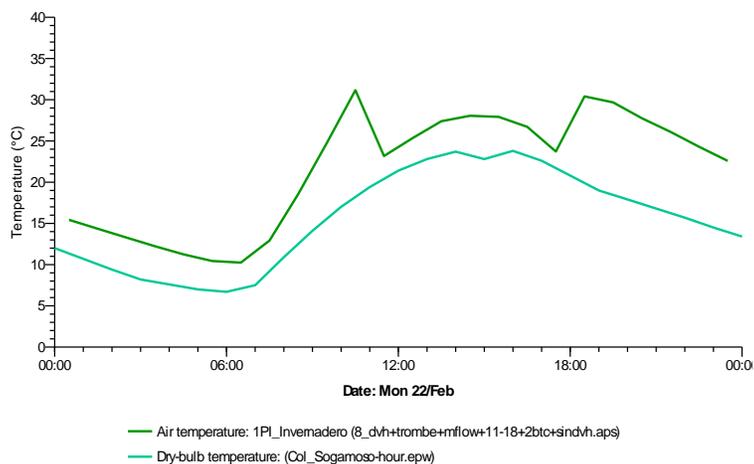
**Tabla 3.31 Día más caluroso caso mejorado – caso B.**

Fuente: Propia.

Día y hora con la temperatura más alta				
	Peak Date	Peak Time	Dry-bulb temperature (°C)	Air temperature (°C)
Invernadero	22-feb	10:30	18.20	31.16

**Gráfico 3.39 Día más caluroso caso mejorado – caso B.**

Fuente: Propia.



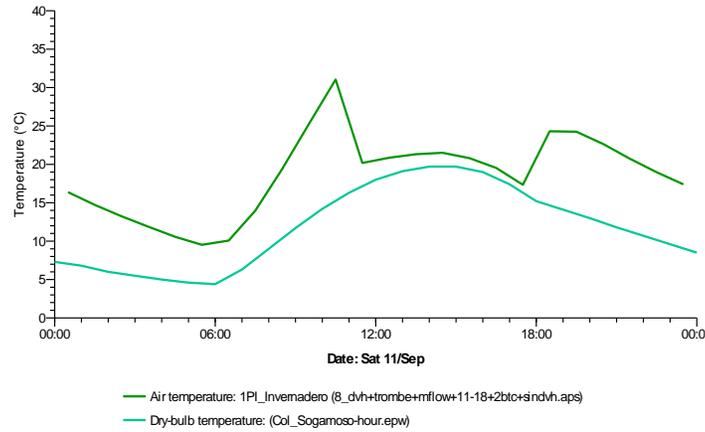
**Tabla 3.32 Día con la temperatura más baja caso mejorado – caso B.**

Fuente: Propia.

Día y hora con la temperatura más baja				
	Peak Date	Peak Time	Dry-bulb temperature (°C)	Air temperature (°C)
Invernadero	11-sep	05:30	4.5	9.52

**Grafico 3.40 Día con a temperatura más baja caso mejorado – caso B.**

Fuente: Propia.

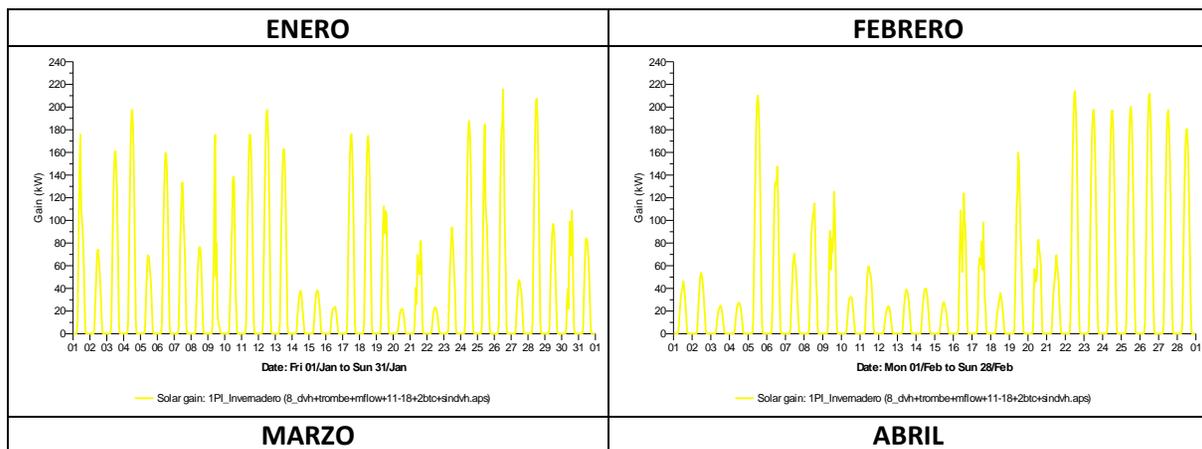


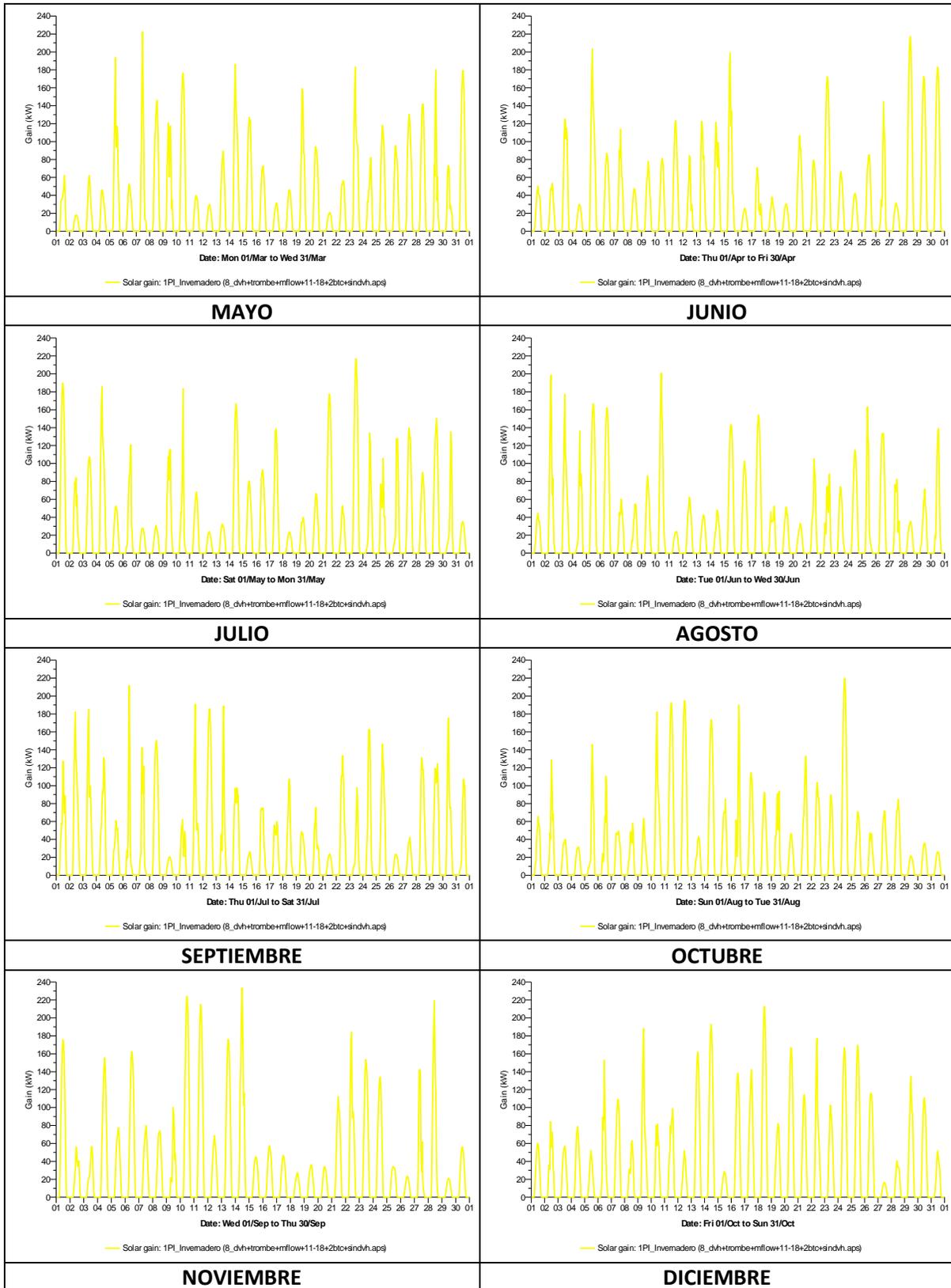
### Ganancia Solar

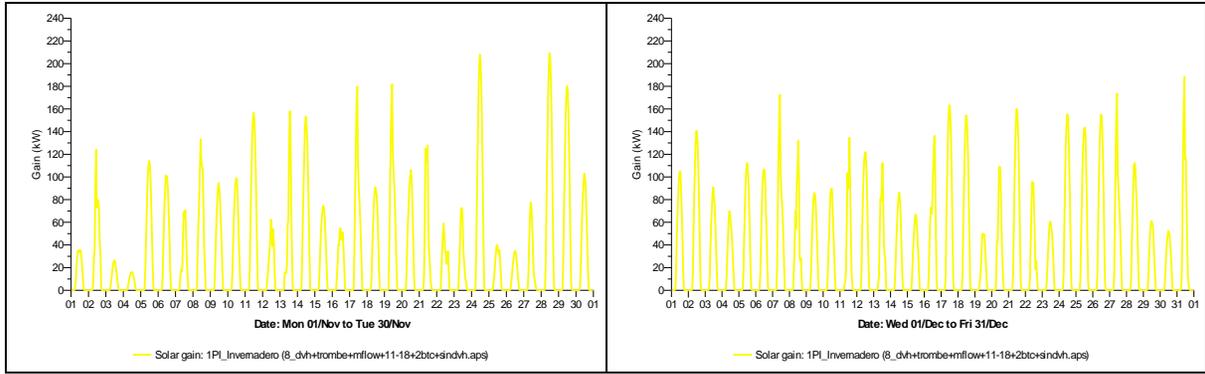
El mes donde se presenta la mayor ganancia solar media es enero con 34.32 KW, y el mes donde se presenta la menor es agosto con 26.43 KW.

**Grafico 3.41 Ganancias solares mensuales caso mejorado – caso B.**

Fuente: Propia.







**Tabla 3.33 Ganancias solares anuales caso mejorado – caso B.**

Fuente: Propia.

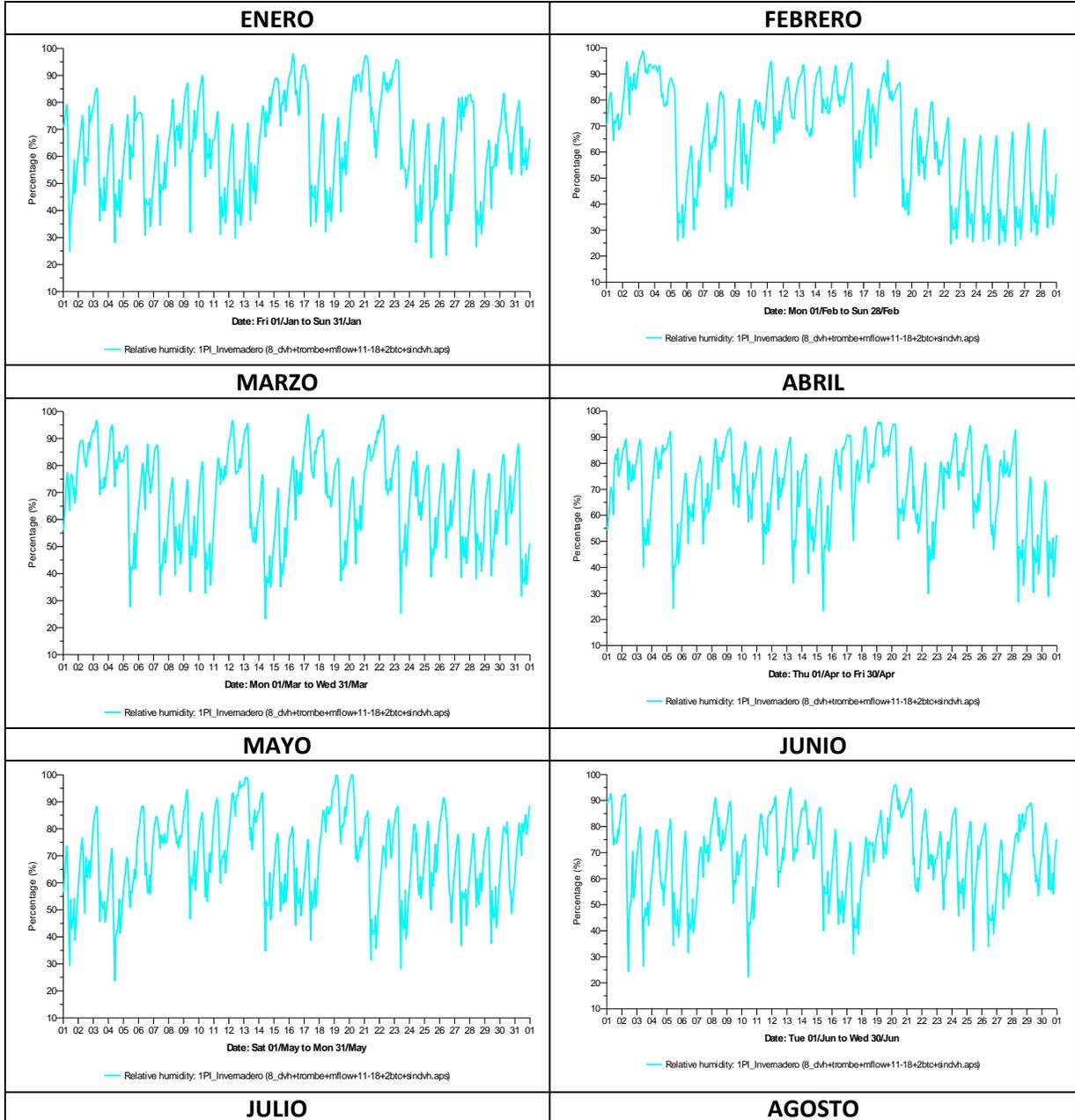
Ganancias solares 1PI_Invernadero (8_dvh)	
MES	(KW) media
Enero	34.32
Febrero	31.72
Marzo	28.23
Abril	27.92
Mayo	28.02
Junio	26.89
Julio	28.87
Agosto	26.43
Septiembre	30.29
Octubre	30.89
Noviembre	28.97
Diciembre	31.82
ANUAL	29.53

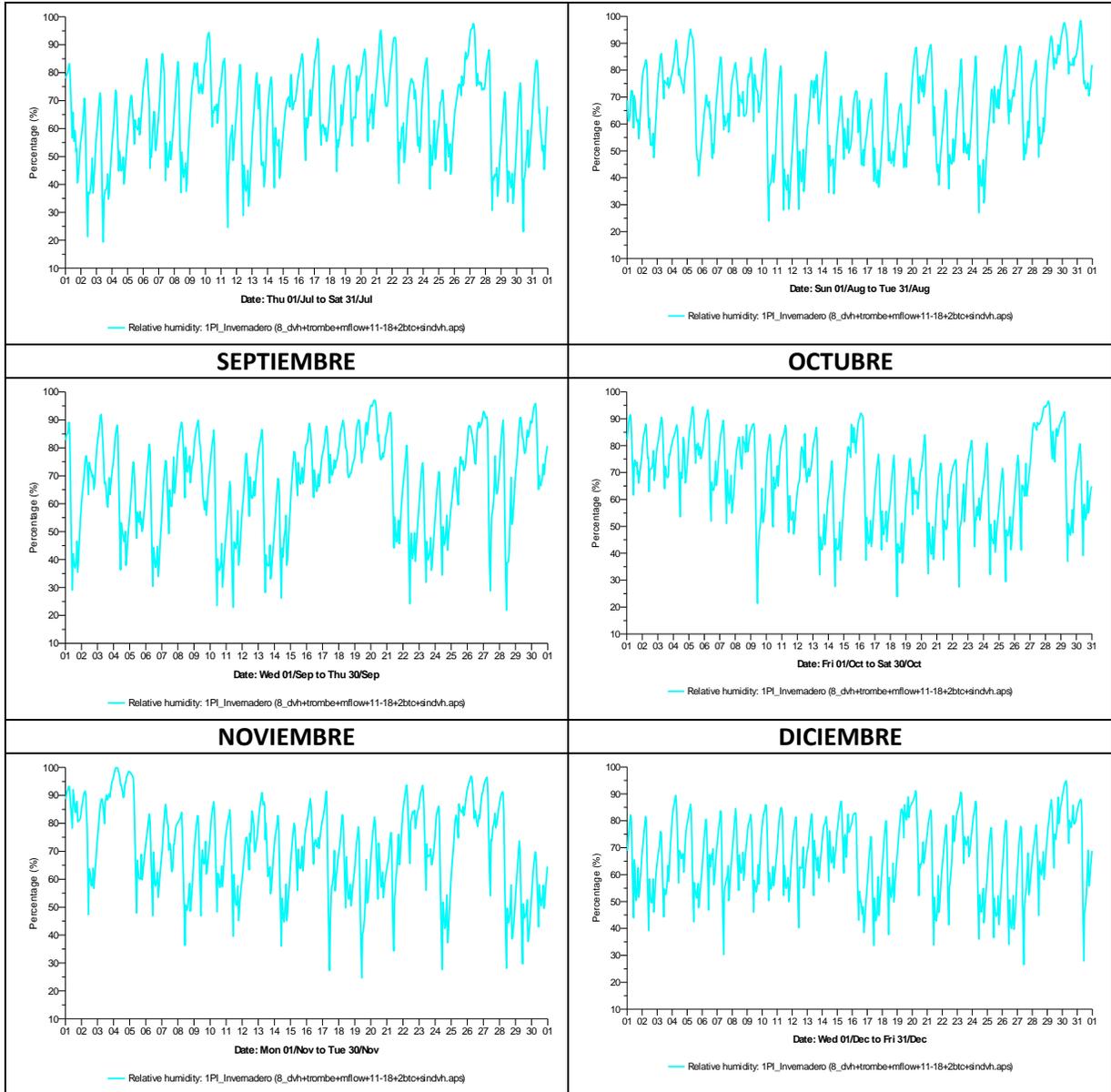
*Humedad relativa*

El mes donde se presenta la mayor humedad es en noviembre con el 70.92%, y el mes con la menor humedad es enero con 64.26%.

**Grafico 3.42 Humedad relativa mensual caso mejorado – caso B.**

Fuente: Propia.





**Tabla 3.34 Humedad relativa anual caso mejorado – caso B.**

Fuente: Propia.

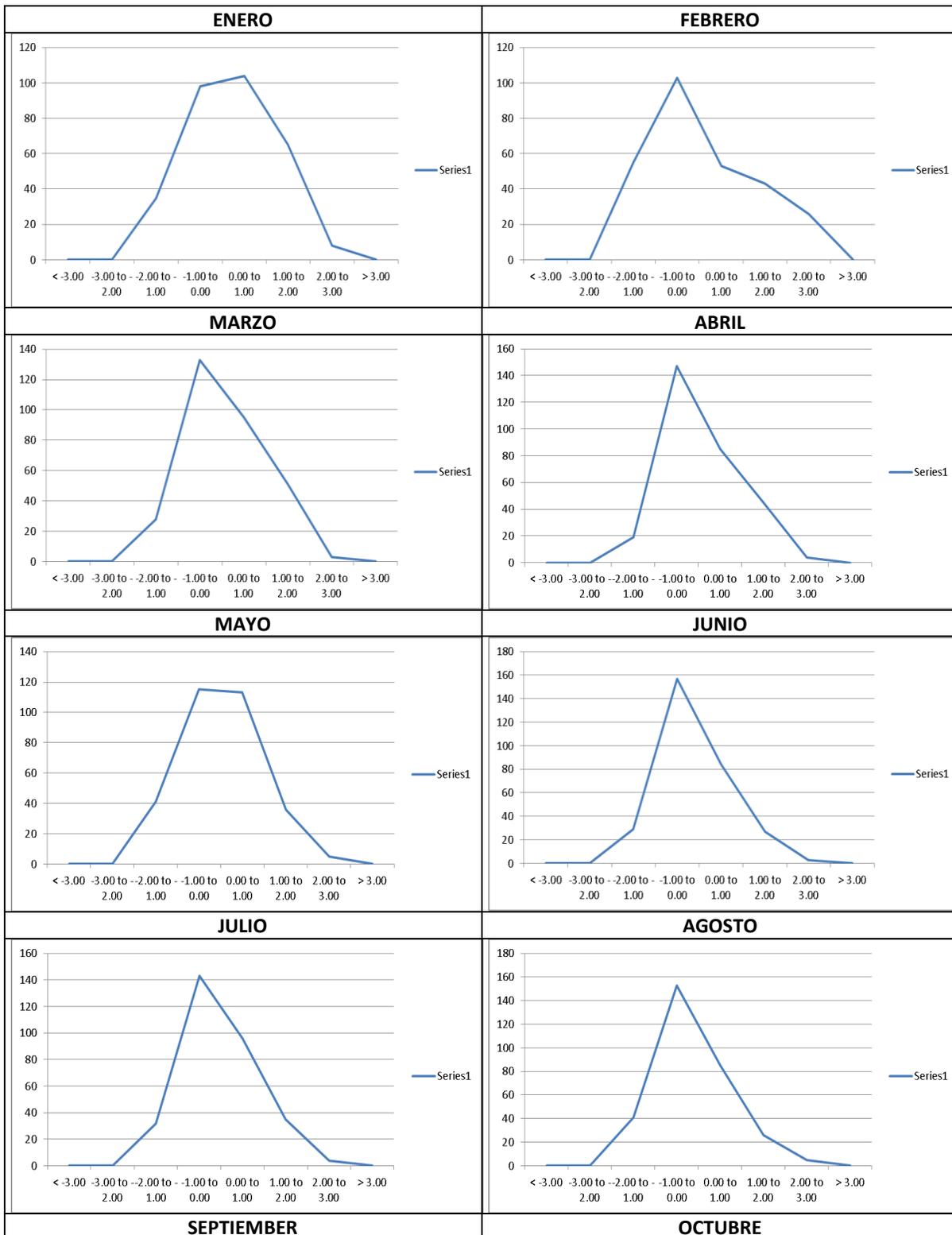
<b>Humedad relativa 1PI_Invernadero (8_dvh)</b>	
<b>MES</b>	<b>(%) medio</b>
Enero	64.26
Febrero	65.45
Marzo	68.25
Abril	70.53
Mayo	69.64
Junio	68.73
Julio	64.34
Agosto	65.98
Septiembre	66.95
Octubre	67.76
<b>Noviembre</b>	<b>70.92</b>
Diciembre	66.73
<b>ANUAL</b>	<b>67.46</b>

*Índice de confort*

El análisis de índice de confort se realiza de lunes a domingo durante las horas de las 8:00 a las 18:00 en total 10 horas diarias y un total anual de 3650 horas como 100% según la ocupación del invernadero, donde se encuentra que en el año se presenta disconfort por temperaturas bajas con un porcentaje en escala -2 a -1 de 9.75% con 356 horas de enero a diciembre. Las horas dentro del confort en escala -1 a 0 es del 42.85% con 1564 horas y en escala 0 a 1 es de 31.81% con 1161 horas estos dos durante los meses de enero a diciembre, para un total de 74.66% de confort igual a 2725 horas. En cuanto al disconfort por altas temperaturas en escala de 1 a 2 es de 13.45% correspondiente 491 horas y en escala 2 a 3 es de 2.14% con 78 horas que en los dos casos se presentan de enero a diciembre.

**Gráfico 3.43 Índice de confort mensual caso mejorado – caso B.**

Fuente: Propia.



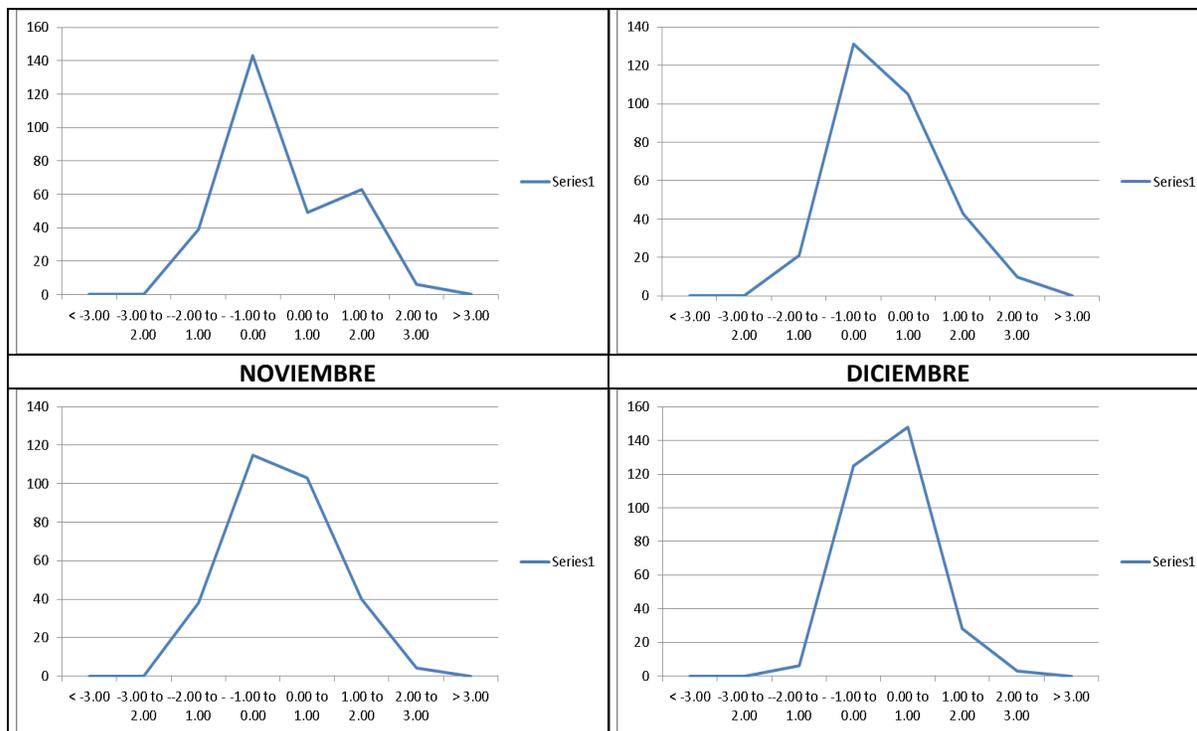


Tabla 3.35 Índice de confort anual caso mejorado – caso B.

Fuente: Propia.

File	Location	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range	Predicted mean vote () - hours in range
7_dv h	1PI_Invernadero	< -3.00	-3.00 to -2.00	-2.00 to -1.00	-1.00 to 0.00	0.00 to 1.00	1.00 to 2.00	2.00 to 3.00	> 3.00
ENERO		0	0	35	98	104	65	8	0
FEBRERO		0	0	55	103	53	43	26	0
MARZO		0	0	28	133	95	51	3	0
ABRIL		0	0	18	146	84	44	3	0
MAYO		0	0	41	115	113	36	5	0
JUNIO		0	0	29	157	84	27	3	0
JULIO		0	0	32	143	96	35	4	0
AGOSTO		0	0	40	152	84	25	4	0
SEPTIEMBRE		0	0	39	143	49	63	6	0
OCTUBRE		0	0	21	131	105	43	10	0
NOVIEMBRE		0	0	6	125	148	28	3	0
DICIEMBRE		0	0	12	118	146	31	3	0
TOTAL ANUAL		0	0	356	1564	1161	491	78	0

### 3.2.3 Analisis de resultados

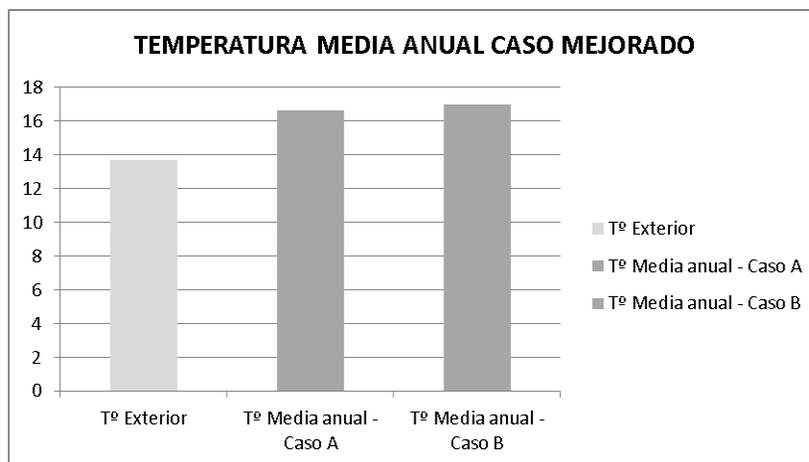
El siguiente análisis se realiza con el fin de comparar los resultados anteriores de los casos mejorados A y B, para encontrar y analizar las diferencias de la implementación del muro sencillo caso A al muro doble Caso B en el invernadero.

#### Temperatura

Realizando la comparación de la temperatura media de los dos casos como se presenta en la Grafica 3.44, se encuentra que: Desde el primer caso aumenta la temperatura interior del invernadero aproximadamente 3°C, con respecto a la temperatura exterior. No hay un aumento significativo de la temperatura interior entre los casos; lo correspondiente al exterior son 13.70°C, para el caso A son 16.64°C y caso B el de mayor resultado 16.97°C. Se observa que, al aumentar el espesor de los muros al doble, de la misma manera se incrementa la temperatura al interior del invernadero.

Grafico 3.44 Comparativo caso mejorado A y B temperatura media anual.

Fuente: Propia.

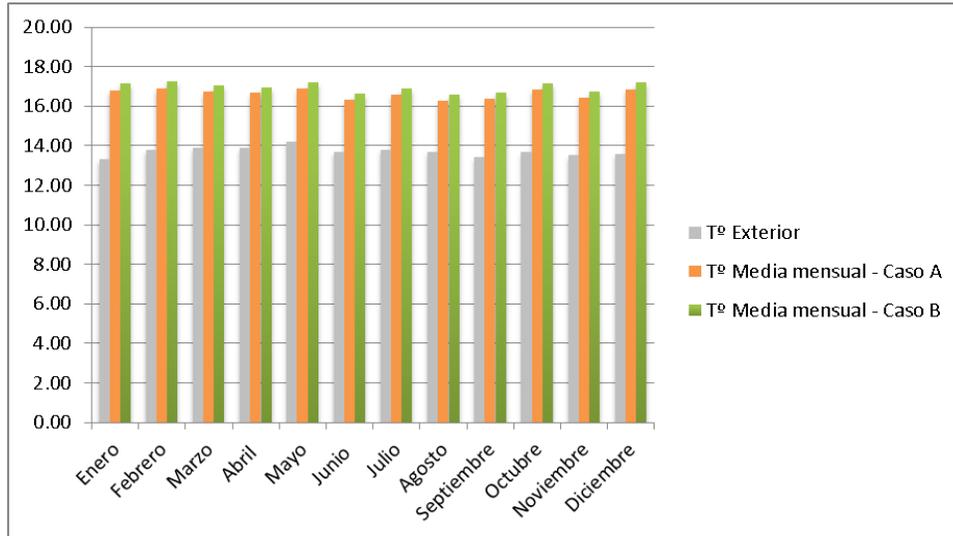


De acuerdo con la información de la Grafica 3.45, en cuanto a la temperatura media mensual exterior se encuentra que enero es el mes más frío con 13.30°C y mayo el más caluroso los 14.20°C. En cuanto a los casos A y B este último es el que presenta la mayor temperatura al interior llegando a 17.27°C en el mes de febrero, y la temperatura más baja en agosto con 16.59°C,

en, el caso A la temperatura más alta es en febrero con 16.91°C y la más baja en agosto con 16.28°C.

**Grafico 3.45 Comparativo caso mejorado A y B temperatura media mensual.**

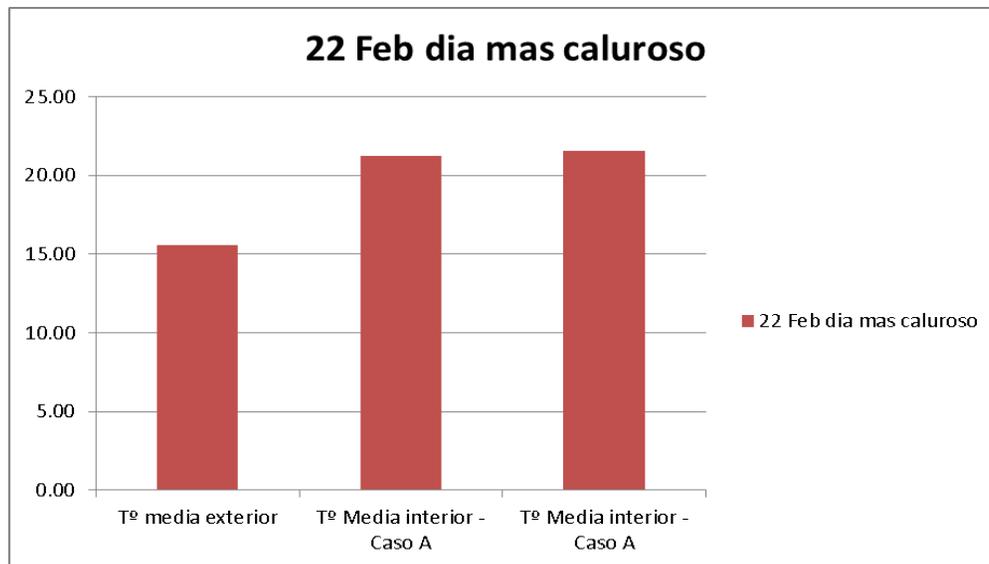
Fuente: Propia.



En cuanto al día más caluroso la temperatura media anual en el exterior es de 15.56°C, con respecto a los casos A y B aumenta la temperatura interior aproximadamente en 6°C, en el caso A es de 21.24°C y la más alta el caso 3 21.57°C.

**Grafico 3.46 Comparativo caso mejorado A y B día mas caluroso.**

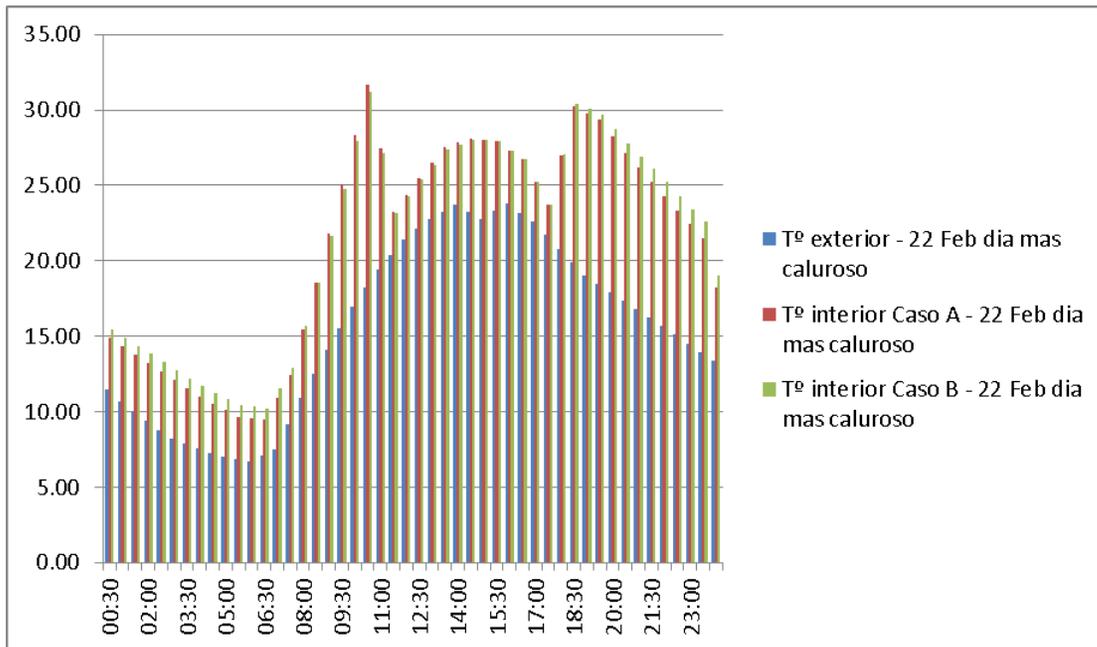
Fuente: Propia.



Durante el día más caluroso 22 de febrero, la temperatura exterior sobre los 20°C se encuentra desde las 11:30 a las 18:00 horas teniendo en este día 6.5 horas sobre esta temperatura, teniendo como máxima 23.80°C y la mínima de 6.70°C a las 6:00 horas, con una diferencia entre estas dos de 17.1°C. En el caso A la temperatura por encima de los 20°C se encuentra de las 9:00 a las 23:30 teniendo en este día 14.5 horas sobre este rango, con una máxima de 31.66°C y con 9 horas de sobrecalentamiento o temperatura por encima de los 25°C, desde las 10:00 a las 11:00 horas, de las 12:30 a las 17:00 horas y de las 18:00 a las 21:30 horas. La temperatura mínima para el caso A en este día es de 9.46°C a las 6:30 horas, con una diferencia entre la más alta y la más baja de 22.2°C. Para el caso B se encuentra 14.5 horas sobre los 20°C con el mismo horario que el caso A, con una temperatura máxima de 31.16°C y 9.5 horas de sobrecalentamiento entre las 10:00 a las 11:00 horas, de las 12:30 a las 17:00 horas y de las 18:00 a las 22:00. La temperatura mínima para el caso B en este día es de 10.24°C a las 6:30 horas, con una diferencia entre la más alta y la más baja de 20.92°C.

**Gráfico 3.47 Comparativo caso mejorado A y B día más caluroso por horas.**

Fuente: Propia.



En el día más frío 11 de septiembre, la temperatura media anual en el exterior es de 11.90°C, con respecto a los casos A y B aumenta la temperatura interior aproximadamente 6°C, en el caso A es de 18.01°C y la más alta el caso B con 18.58°C.

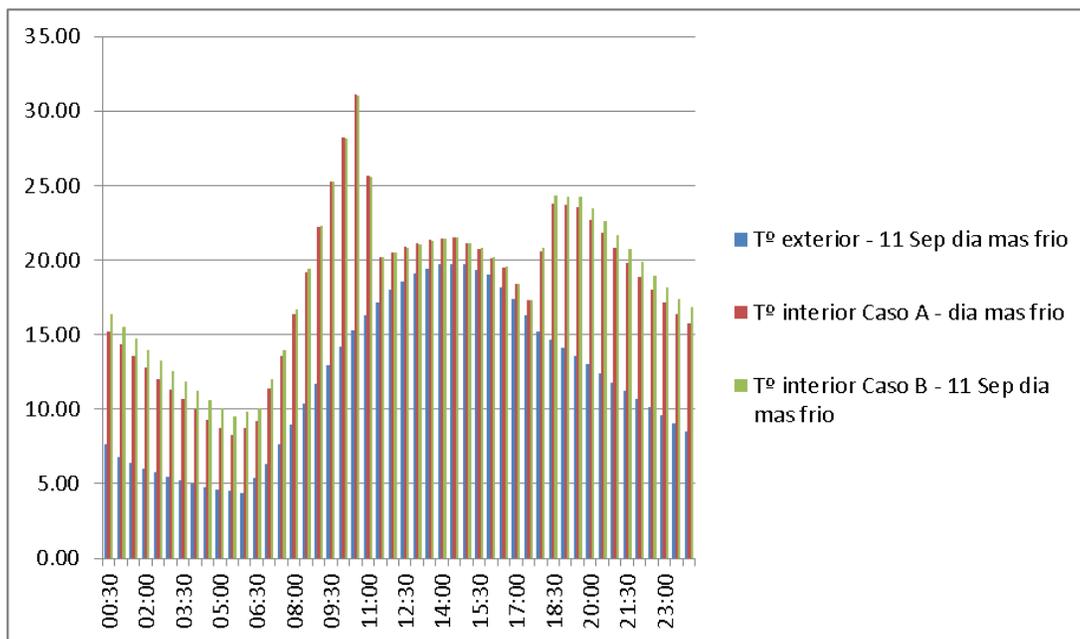
**Grafico 3.48 Comparativo caso mejorado A y B día más frío.**  
Fuente: Propia.



Durante el día más frío la temperatura exterior no alcanza a llegar a los 20°C la más alta es desde las 14:00 a las 15:00 con 19.70°C, la temperatura más baja es de 4.40°C a las 6:00 horas, con una diferencia entre estas dos de 15.3°C. En el caso A la temperatura por encima de los 20°C se encuentra de las 9:00 a las 16:00 y de las 18:00 a las 21:00 teniendo en este día 10 horas sobre este rango, con una máxima de 31.14°C a las 10:30 y temperatura mínima de 8.25°C a las 5:30 horas, con una diferencia entre estas dos de 22.89°C. Se presenta 2.5 horas de sobrecalentamiento desde las 9:30 a las 11:00. En el caso B 10.5 horas desde las 9:00 a las 16:00 y de las 18:00 a las 21:30 se encuentran por encima de los 20°C, con una temperatura máxima de 31.05°C a las 10:30 horas y una mínima de 9.52°C a las 5:30 horas, con una diferencia entre estas dos de 21.53°C. Se presenta 2.5 horas de sobrecalentamiento desde las 9:30 a las 11:00.

**Grafico 3.49 Comparativo caso mejorado A y B día más frío por horas.**

Fuente: Propia.



Se observa que en el día más caluroso las horas de confort para los trabajadores en el caso A se encuentra entre las 8:30 a las 9:00 con temperatura de 18.54°C a 21.80°C, entre las 11:30 a las 12:00 con 23.28°C a 24.37°C, a las 17:30 con 23.71°C, y entre las 22:00 a las 24:00 con 18.22°C a 24.30°C. En el caso B se presenta entre las 8:30 a las 9:30 con temperatura de 18.53°C a 24.75°C, entre las 11:30 a las 12:00 con 23.18°C a 24.27°C, a las 17:30 con 23.72°C, y entre las 22:30 a las 24:00 con 19.01°C a 24.29°C.

Con respecto a las horas de confort en el día más frío en el caso A se encuentra entre las 8:30 a las 9:00 con temperatura entre los 19.22°C a 22.24°C, entre las 11:30 a las 17:00 con 18.40°C a 21.50°C, y de las 18:00 a las 22:00 con 18.90°C a 23.80°C. En el caso B se presenta entre las 8:30 a las 9:00 con temperatura entre los 19.38°C a los 22.32°C, entre las 11:30 a las 17:00 con 18.44°C a 21.51°C y de las 18:00 a las 23:00 con 18.18°C a 24.28°C. Teniendo mejor resultado de confort el caso B.

Con respecto a la temperatura que se requiere para el secado del grano de la quinua que es entre los 20 °C a 25 °C, el día más caluroso 22 de febrero en los dos casos A y B se presenta 15 horas con temperaturas por encima de los 20°C, desde las 9:00 a las 23:30. En cuanto al día más frío se

presentan 11 horas en los dos casos A y B de temperaturas sobre los 20°C, desde las 9:00 a las 16:00 y desde las 18:00 a las 21:00.

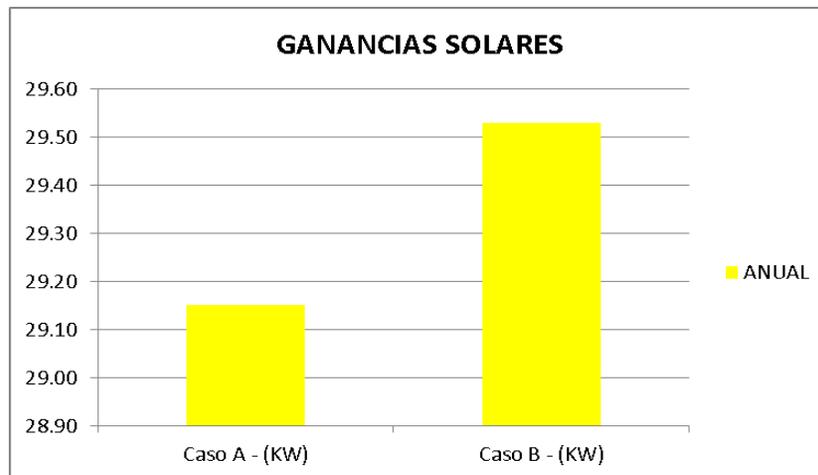
Con la masa térmica que se implementó, BTC (Bloque de tierra comprimida), permite un control mayor de la diferencia entre la temperatura exterior y la interior de tal manera presentándose más constante dentro del invernadero, y, generando mayor uniformidad en el secado del grano y en las horas de confort al interior.

### *Ganancias solares*

Las ganancias solares en el caso B son mayores de 29.53 KW, sin embargo, a diferencia del caso A que es 29.15 KW no es muy relevante. Los meses con mayor ganancia solar son: Enero, febrero, octubre y diciembre.

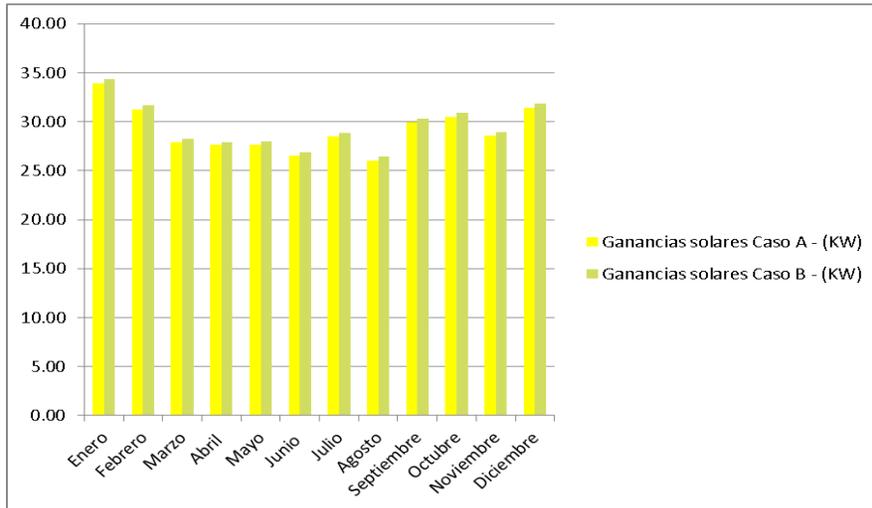
**Grafico 3.50 Comparativo caso mejorado A y B Ganancias solares anuales.**

Fuente: Propia.



**Gráfico 3.51 Comparativo caso mejorado A y B Ganancias solares mensuales.**

Fuente: Propia.

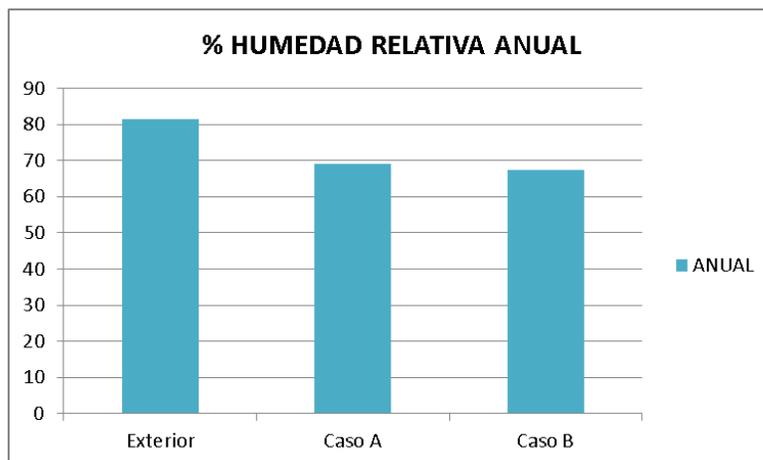


*Humedad Relativa*

La humedad relativa anual del exterior es de 81.49%, en los dos casos A y B la humedad relativa se logra entrar en los dos casos dentro del rango de confort y secado del grano que es entre 50% al 70%, caso A 69.04% y caso B 67.41%. Sin embargo, en el caso A se encuentra cuatro meses sobre el nivel requerido abril 72.04%, mayo 71.19%, junio 70.20% y noviembre 72.56%. En el caso B se presenta solamente dos meses humedades relativas sobre el nivel requerido abril 70.53% y noviembre 70.92%.

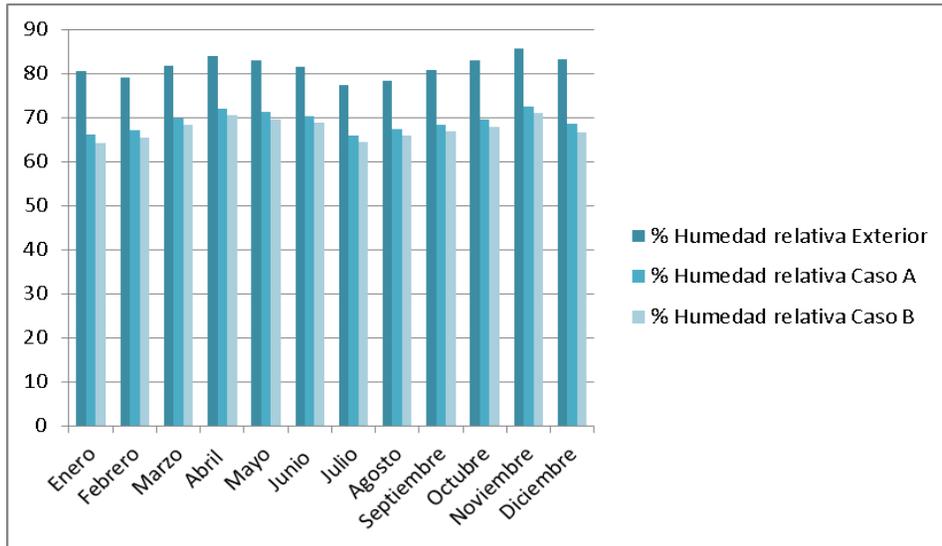
**Gráfico 3.52 Comparativo caso mejorado A y B Humedad relativa anual.**

Fuente: Propia.



**Gráfico 3.53 Comparativo caso mejorado A y B Humedad relativa mensual.**

Fuente: Propia.

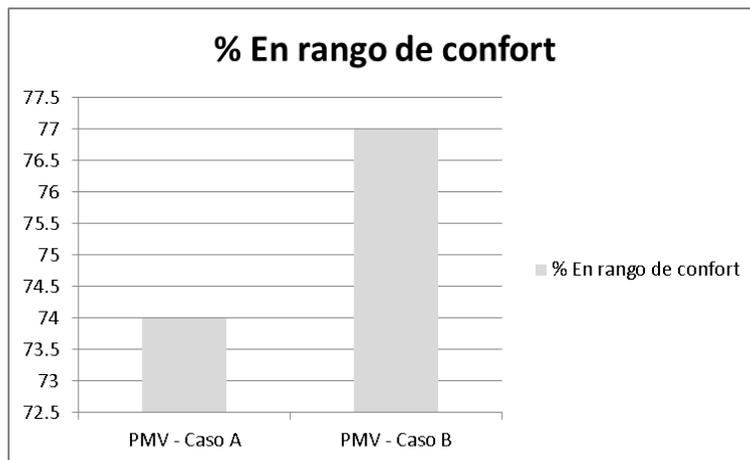


*Indice de Confort*

En cuanto al índice de confort el que presenta mejor porcentaje anual es el caso B con el 77%, el caso A con el 74%. Esto se debe a que en el caso A se presenta más horas de sobrecalentamiento y de temperaturas bajas.

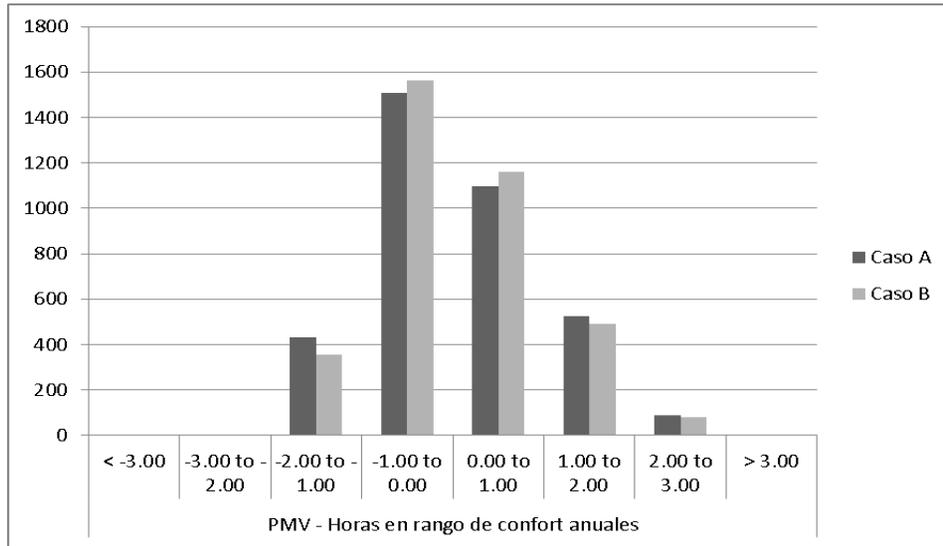
**Gráfico 3.54 Comparativo caso mejorado A y B % horas en rango de confort.**

Fuente: Propia.



**Gráfico 3.55 Comparativo caso mejorado A y B % horas en rango de confort PMV.**

Fuente: Propia.



## **CAPITULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

### **4.1 RESULTADOS COMPARATIVOS ENTRE CASO BASE Y CASO MEJORADO.**

En esta etapa se realizan tablas y graficos comparativos de los resultados arrojados tanto en el caso base como en el caso mejorado. De tal manera se pueda diferenciar variables como la temperatura, ganancias solares, humedad relativa e indice de confort, en los resultados de la implementación de los invernaderos convencionales - caso base y el caso propuesto - caso mejorado.

#### ***Temperatura***

Realizando la comparación de la temperatura media anual exterior con los dos casos base y mejorado representado en la tabla 4.1 y grafica 4.1, se encuentra que: La temperatura media anual exterior es de 13.7°C, con una temperatura máxima anual de 14.2°C y mínima de 13.3°C. Para el caso base en el caso 1 la temperatura media anual es de 15.62°C, la máxima 15.82°C y la mínima 15.40°C, en el caso 2 la media es de 15.78°C, máxima de 15:99°C y mínima de 15.52°C, el que presenta mayor temperatura media anual interior es el caso 3 con 15.87°C, de la máxima de 16.23°C y la mínima de 14.61°C. En el caso mejorado el caso A la media es de 16.64°C, la máxima de 16.91°C y la mínima de 16.28°C, el de mayor resultado es el caso B con una temperatura media anual de 16.97°C, la máxima de 17.27°C y la mínima 16.59°C. En cuanto a la relación con la temperatura exterior el caso base – caso 3 presenta aproximadamente 2°C más con respecto a esta, y el caso mejorado aproximadamente 3°C más. Cabe resaltar que el caso mejorado efectivamente presento un aumento en los resultados de la temperatura con respecto al caso base – caso 3 el de mayor resultado.

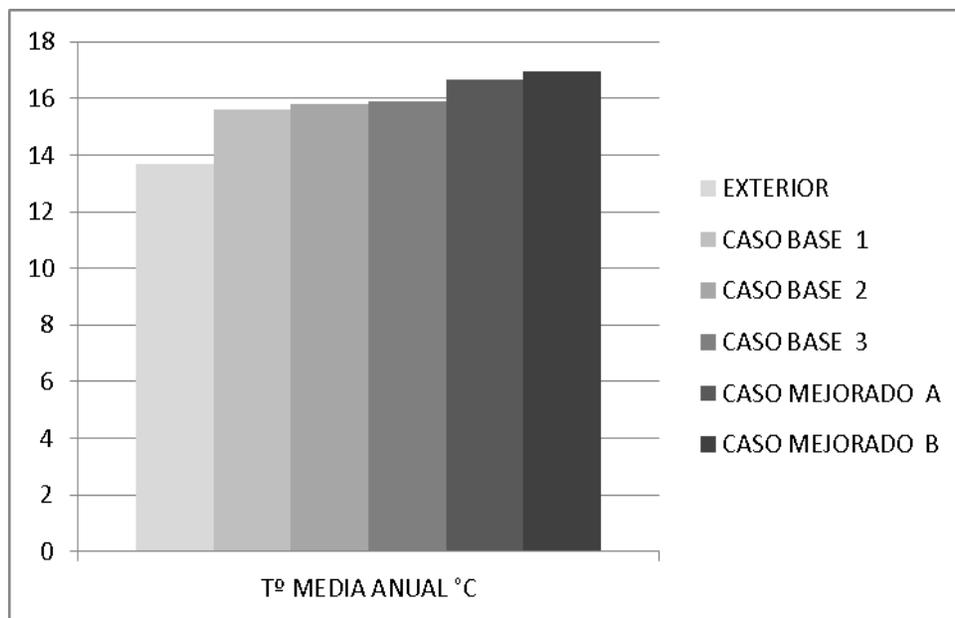
**Tabla 4.1 Comparativo caso base – caso mejorado temperatura media anual.**

Fuente: Propia.

TEMPERATURA °C	EXTERIOR	CASO BASE			CASO MEJORADO	
		1	2	3	A	B
MEDIA ANUAL °C	13.7	15.62	15.78	15.87	16.64	16.97
MAXIMA ANUAL °C	14.2	15.82	15.99	16.23	16.91	17.27
MINIMA ANUAL °C	13.3	15.40	15.52	14.61	16.28	16.59

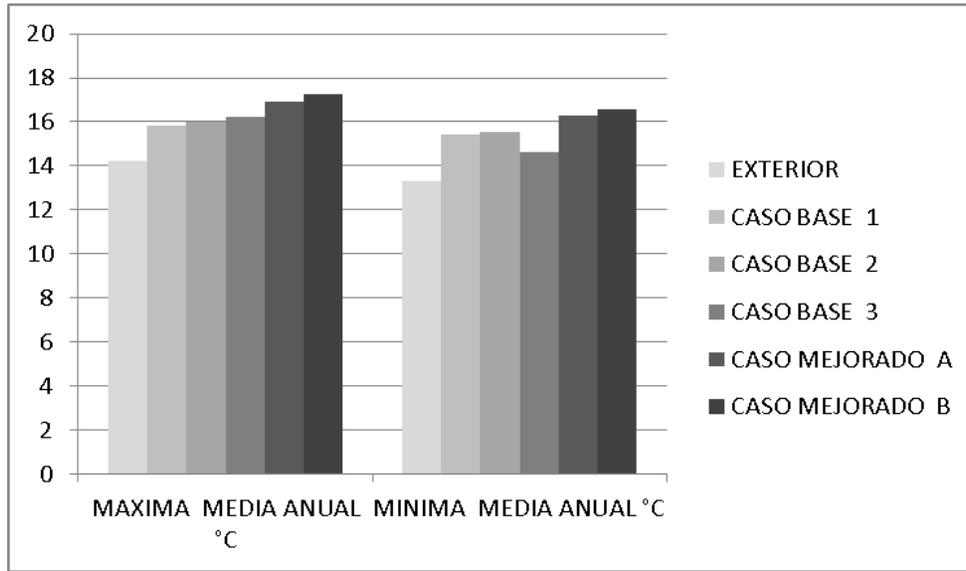
**Gráfico 4.1 Comparativo caso base – caso mejorado temperatura media anual.**

Fuente: Propia.



**Grafico 4.2 Comparativo caso base – caso mejorado máxima y mínima media anual.**

Fuente: Propia.



En la tabla 4.2 y grafica 4.3 se observa que: Con respecto al día más caluroso en relación a las horas aptas para el secado del grano 20°C - 35°C, con la temperatura exterior se cuenta con 6.5 horas, en los tres casos 1,2 y 3 del caso base con 12.5 horas y en los dos casos A y B se presenta el mejor resultado con 14.5 horas aptas. En cuanto a las horas de sobrecalentamiento temperatura mayor a 25°C, se encuentra que en el caso base el caso 1 presenta el menor número con 5.5 horas, le sigue el caso 2 con 6.5 y luego el caso 3 con 7.5 horas. En el caso mejorado los dos casos A y B tienen el mismo número de hora de sobrecalentamiento. Dentro del horario laboral el caso con el menor número de horas de sobrecalentamiento en el caso base es el caso 1 con 5 horas luego el caso 2 con 5.5 y el caso 3 con 6.5 horas, en el caso mejorado el caso B es el que tiene menor horas de sobrecalentamiento en horario laboral con 6.5 y el caso A 7 horas. Aunque el caso base presenta un número menor de horas de sobrecalentamiento se encuentra que en el horario laboral llega a temperaturas por encima de los 30°C, para el caso 1 la máxima es de 32.95°C, en el caso 2 35.07°C y el caso 3 37.49°C, en el caso mejorado caso A 31.66°C y el caso B 31.16°C.

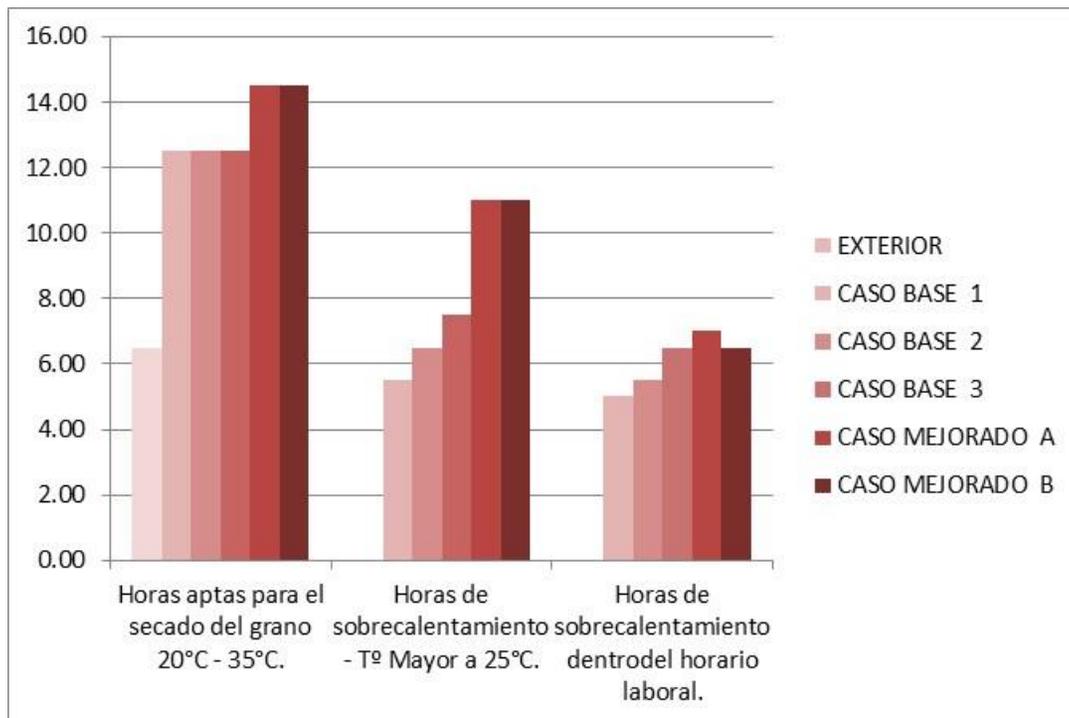
**Tabla 4.2 Comparativo caso base – caso mejorado horas aptas para el secado de los granos día mas caluroso.**

Fuente: Propia.

Tº DIA MAS CALUROSO 22 FEB	EXTERIOR	CASO BASE			CASO MEJORADO	
		1	2	3	A	B
Horas aptas para el secado del grano 20°C - 35°C.	6.50	12.50	12.50	12.50	14.50	14.50
Horas de sobrecalentamiento - Tº Mayor a 25°C.	0.00	5.50	6.50	7.50	11.00	11.00
Horas de sobrecalentamiento dentro del horario laboral.	0.00	5.00	5.50	6.50	7.00	6.50

**Grafico 4.3 Comparativo caso base – caso mejorado horas aptas para el secado de los granos día mas caluroso.**

Fuente: Propia.



En la tabla 4.3 y grafica 4.4 la diferencia entre la temperatura mas alta con respecto al exterior el cual es 17.10°C, el resultado mas cercano a este es el del caso mejorado caso B con 20.90°C de diferencia. Los resultados del caso base son los siguientes: Caso 1 tiene 26.08°C, el caso 2 28.20°C y el caso 3 30.62°C. Para el caso mejorado caso A el resultado es el segundo mas cercano a la diferencia de temperatura exterior con 22.20°C.

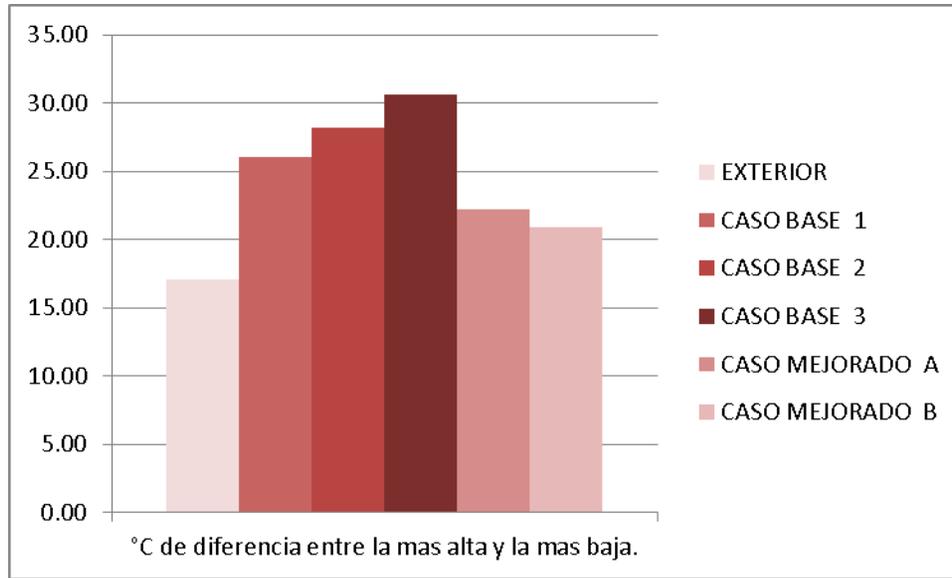
**Tabla 4.3 Comparativo caso base – caso mejorado diferencia entre la temperatura más alta y más baja día mas caluroso.**

Fuente: Propia.

Tº DIA MAS CALUROSO 22 FEB	EXTERIOR	CASO BASE			CASO MEJORADO	
		1	2	3	A	B
°C de diferencia entre la más alta y la más baja.	17.10	26.08	28.20	30.62	22.20	20.90

**Grafico 4.4 Comparativo caso base – caso mejorado diferencia entre la temperatura más alta y más baja día mas caluroso.**

Fuente: Propia.



Con respecto al día más frío 11 de septiembre representado en la tabla 4.4 y gráfica 4.5, en relación a las horas aptas para el secado del grano entre 20°C a 35°C, en la temperatura exterior no se encuentran horas idóneas. Para el caso base en el caso 1 se presentan 6.5 horas, en el caso 2 se cuenta con 8 horas y en el caso 3 con 9.5 horas. En el caso mejorado el caso A cuenta con 11 horas aptas para el secado del grano y el caso B con 11.5 horas. En cuanto a las horas de sobrecalentamiento tº mayor a 25°C, se encuentra que en el caso base el caso 1 y 2 no presentan horas de sobrecalentamiento, el caso 3 tiene 1.5 horas, y el caso mejorado el caso A al igual que el B tiene dos horas cada uno. Dentro del horario laboral con horas de sobrecalentamiento en el caso base el único que presenta es el caso 3 con 1.5 horas, en el caso mejorado los dos A y B presentan 2 horas cada uno. La temperatura máxima en el caso base - caso 3 es de 28.88°C, en el caso mejorado – caso A es de 31.14°C y en el caso B de 31.05°C.

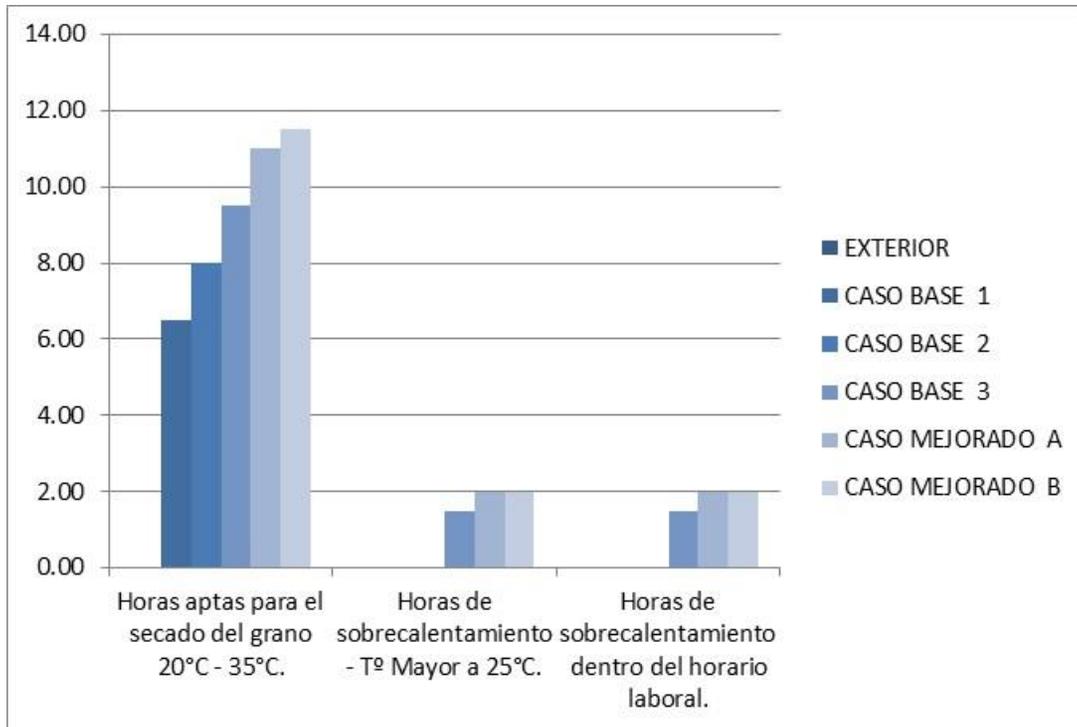
**Tabla 4.4 Comparativo caso base – caso mejorado horas aptas para el secado de los granos día más frío.**

Fuente: Propia.

Tº DIA MAS FRIO 11 SEP	EXTERIOR	CASO BASE			CASO MEJORADO	
		1	2	3	A	B
Horas aptas para el secado del grano 20°C - 35°C.	0.00	6.50	8.00	9.50	11.00	11.50
Horas de sobrecalentamiento - Tº Mayor a 25°C.	0.00	0.00	0.00	1.50	2.00	2.00
Horas de sobrecalentamiento dentro del horario laboral.	0.00	0.00	0.00	1.50	2.00	2.00

**Grafico 4.5 Comparativo caso base – caso mejorado horas aptas para el secado de los granos día más frío.**

Fuente: Propia.



La tabla 4.5 y la grafica 4.6 muestran la diferencia entre la temperatura mas alta y mas baja con respecto al exterior es de 15.30°C, el resultado mas cercano a este es el del caso base - caso 1 con 17.79°C de diferencia, el caso 2 tiene 18.40°C y el caso 3 25.04°C. Para el caso mejorado el caso A es de 22.89°C y el caso B tiene 21.53°C de diferencia.

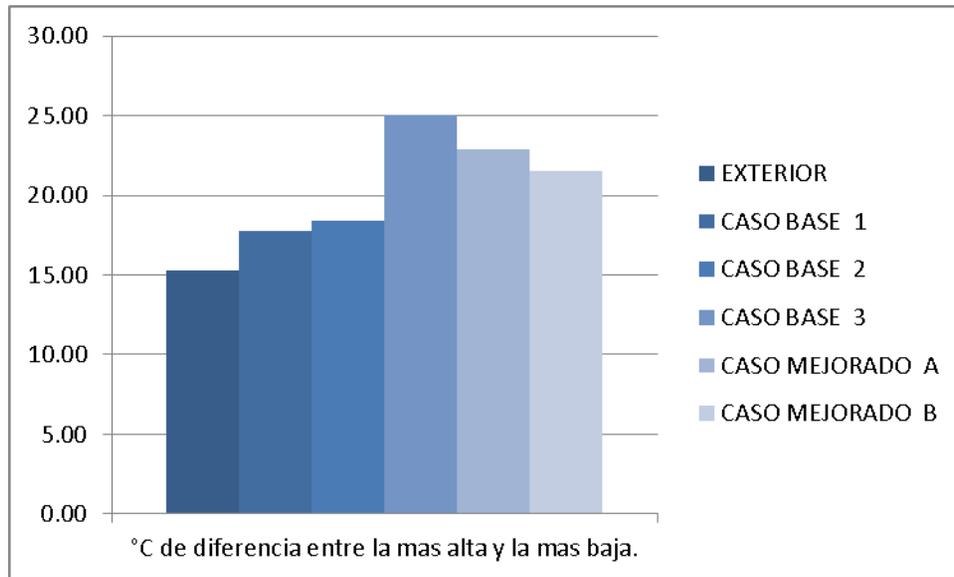
**Tabla 4.5 Comparativo caso base – caso mejorado diferencia entre la temperatura más alta y más baja día más frío.**

Fuente: Propia.

Tº DIA MAS FRIO 11 SEP	EXTERIOR	CASO BASE			CASO MEJORADO	
		1	2	3	A	B
°C de diferencia entre la más alta y la más baja.	15.30	17.79	18.40	25.04	22.89	21.53

**Grafico 4.6 Comparativo caso base – caso mejorado diferencia entre la temperatura más alta y más baja día más frío.**

Fuente: Propia.



Con la masa térmica que se implementó BTC (Bloque de tierra comprimida), permite un control mayor de la diferencia entre la temperatura exterior y la interior de tal manera presentándose más constante dentro del invernadero, generando una mayor uniformidad en el secado del grano y horas de confort al interior.

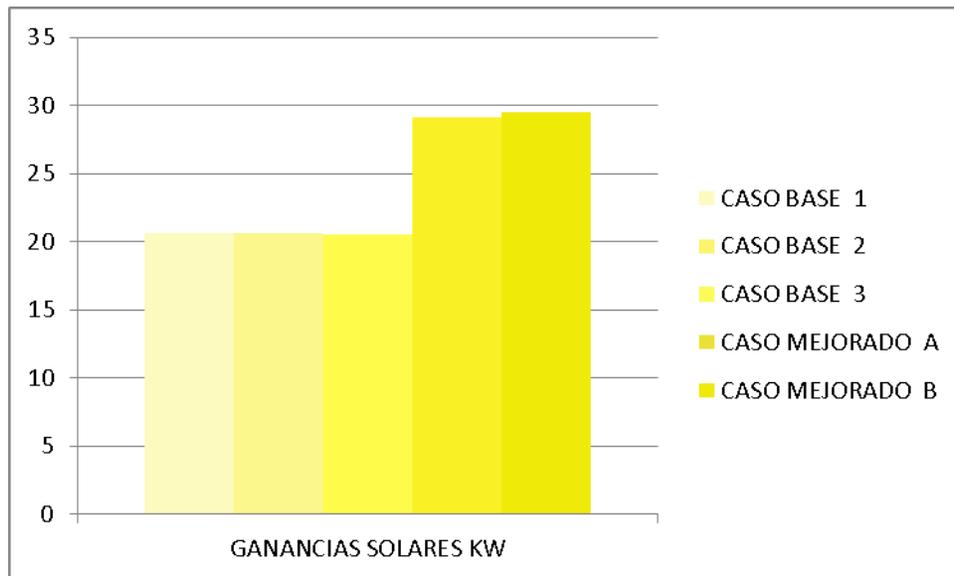
**Ganancias solares**

En los resultados de la tabla 4.6 y grafica 4.7 se puede ver que las ganancias solares en el caso mejorado son mayores a las del caso base. El caso 1 y 2 tienen 20.63 KW y el caso 3 20.56 KW. El caso A presenta 29.15 KW y el caso B 29.53 KW.

**Tabla 4.6 Comparativo caso base – caso mejorado Ganancias solares anuales.**  
Fuente: Propia.

	CASO BASE			CASO MEJORADO	
	1	2	3	A	B
GANANCIAS SOLARES KW	20.63	20.63	20.56	29.15	29.53

**Grafico 4.7 Comparativo caso base – caso mejorado Ganancias solares anuales.**  
Fuente: Propia.



**Humedad Relativa**

En cuanto a la humedad relativa en la tabla 4.7 y grafica 4.8 se observa que los resultados del caso base se encuentran por encima del 70%, el caso 1 tienen 74.21%, el caso 2 con 73.78% y el caso 3 con 73.17%. En cuanto al caso mejorado los resultados se encuentran por debajo del 70% de humedad relativa, el caso A presenta 69.04% y el caso B 67.41%.

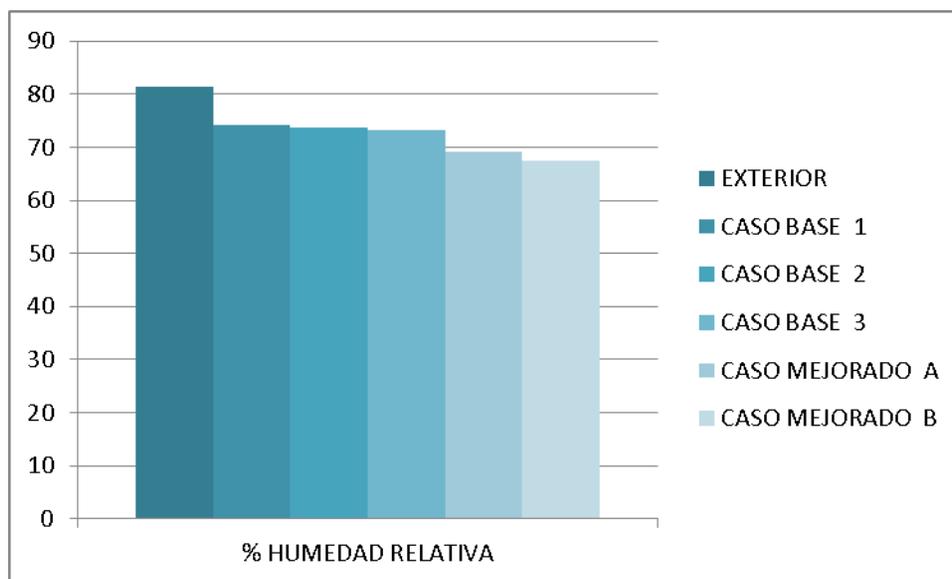
**Tabla 4.7 Comparativo caso base – caso mejorado Humedad relativa anual.**

Fuente: Propia.

	EXTERIOR	CASO BASE			CASO MEJORADO	
		1	2	3	A	B
% HUMEDAD RELATIVA	81.49	74.21	73.78	73.17	69.04	67.41

**Grafico 4.8 Comparativo caso base – caso mejorado Humedad relativa anual.**

Fuente: Propia.



**Indice de Confort**

En la tabla 4.8 y grafica 4.9 se puede observar que en el caso base caso 1 el porcentaje de rango de confort es del 74%, en el caso 2 es del 71% y en el caso 3 del 70%. En el caso mejorado los resultados son mejores en el caso A con el 74% y en el caso B con el 77%.

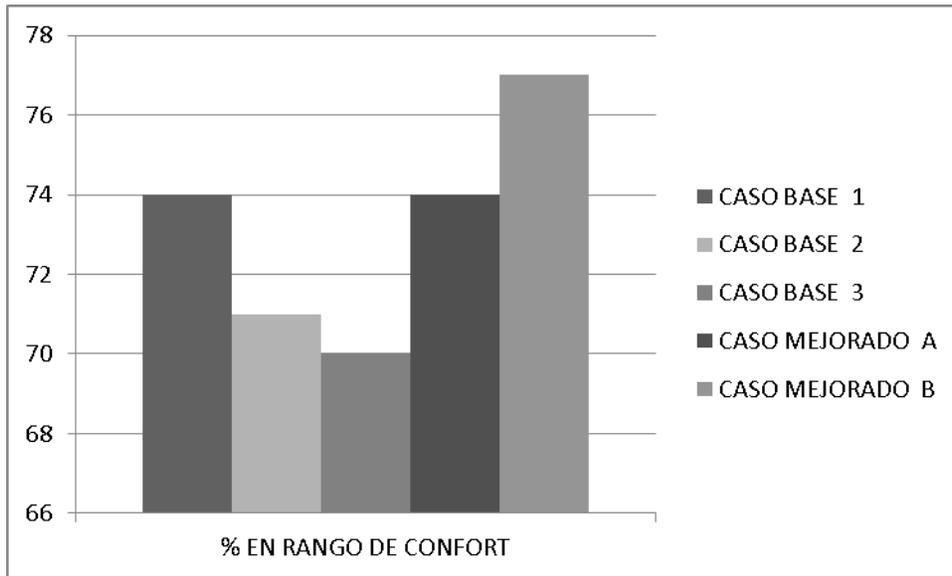
**Tabla 4.8 Comparativo caso base – caso mejorado % de horas en rango de confort.**

Fuente: Propia.

	CASO BASE			CASO MEJORADO	
	1	2	3	A	B
% EN RANGO DE CONFORT	74	71	70	74	77

**Grafico 4.9 Comparativo caso base – caso mejorado % de horas en rango de confort.**

Fuente: Propia.



## 4.2 PARAMETROS DE DISEÑO

Según los anteriores resultados de simulación de el invernadero caso base y caso mejorado podemos resumir que:

### *Temperatura*

Con referencia a la temperatura media anual podemos observar que entre el caso base y el caso mejorado, el primero presenta un aumento de la temperatura interior con respecto a la temperatura exterior de 2°C, el caso mejorado que es el que presenta la temperatura mas alta, tanto en la temperatura maxima como en la minima, especificamente en el caso B, presenta un aumento de la temperatura interior de 3°C.

En cuanto al dia mas caluroso 22 de febrero los resultados muestran que el caso base en los todos los casos 1, 2 y 3 aumenta efectivamente a 12.5 horas aptas para el secado de los granos con respecto a la temperatura exterior la cual cuenta con 6.5 horas, sin embargo en el dia mas frio 11 de septiembre el que arroja mejor resultado es el caso 3 con 9.5 horas aptas para el secado. Aunque los casos 1 y 2 presentan menor cantidad de horas de sobrecalentamiento con respecto al caso 3, este ultimo es el que presenta las temperaturas mas favorables para el secado de los granos, pero aclarando que las temperaturas mas altas se encuentran por encima de los 35°C.

Para el caso mejorado en el dia mas caluroso 22 de febrero, en los dos caso A y B se presentan 14.5 horas para el secado de los granos y en el dia mas frio 11 de septiembre en el caso A 11 horas y caso B 11.5 horas adecuadas. Este caso mejorado presenta mayor numero de horas de sobrecalentamiento en los dos días, sin embargo las temperaturas maximas no son tan altas como en el caso base. Entre estos dos casos A y B el que arrojo mejores resultados fue el B. El cambio de los materiales de la envolvente la masa termica, la forma de la cubierta y demas estrategias, mejoraron las condiciones internas del invernadero

### *Ganancias solares*

Los invernaderos, su función y clima de la localización, donde su requerimiento es aumentar las ganancias solares y generar una mayor constante, ya que las diferencia de temperatura entre el día y la noche en Sogamoso son grandes. En el análisis de los dos, Caso base y Caso mejorado, se encuentra que el segundo es el que cuenta con mayor ganancias solares con una diferencia representativa, caso base – caso 3 con 20.56 KW y caso mejorado – caso B con 29.53 KW.

### *Humedad relativa*

El comportamiento de los modelos en cuanto a la humedad relativa es claro que en el caso base en el 1, 2 y 3 los porcentajes se encuentran por encima del 70% cuando lo requerido para el secado es entre el 50% y 70%, en el caso mejorado A y B se encuentra dentro del rango sin embargo el caso B presenta mayor efectividad.

### *Indice de confort*

En el resumen de los resultados se puede observar que el de mayor porcentaje de horas en el rango de confort es el caso mejorado – caso B con 75%, luego se encuentra el caso base – caso 1 con el 74% y el de menor porcentaje es el caso base – caso 3 con el 70%. En cuanto al porcentaje de horas de sobrecalentamiento el caso base – caso 1 es el menor con 14%, le sigue el caso mejorado – caso B con el 16%. En el porcentaje de horas de enfriamiento el menor porcentaje es el de caso mejorado – caso B, le sigue los tres casos del caso base con el 11% y finalmente el caso mejorado – caso A con el 12%. Lo que se puede observar es que en los casos con menor porcentaje de horas en el rango de confort tienden a presentar mayor horas de sobrecalentamiento dentro de los rangos de indice de confort.

#### 4.2.1 Parámetros.

El rango de temperatura de confort y para el secado del grano se estableció que se encuentra entre los 20°C a los 25°C, sin embargo se puede decir que las temperaturas por encima de los 25°C hasta los 35°C sin afectación de la composición de los nutrientes del grano, y que no se encuentren dentro del horario laboral, se pueden contar como horas para el secado de los granos,

según esto podríamos decir que en el día mas caluroso 22 de febrero en el caso base - caso 3 se contaría con 13 horas para el secado del grano, en el caso mejorado - caso B 15 horas. En el día mas frio 11 de septiembre en el caso base – caso 3 se tendría 9.5 horas y en el caso mejorado - caso B 11.5 horas. En los dos días mas caluroso y frio se evidencia que el caso mejorado – caso B tiene mayor efectividad en reducir las horas de diferencia entre la temperatura mínima y máxima de cada día, el 22 de febrero la diferencia es de 20.92°C y el 11 de septiembre es 21.53°C lo que hace que este caso no genere cambios que alteren el secado del grano lo que lo hace mas constante, a diferencia del caso base – caso 3 donde el 22 de febrero se encuentra una diferencia de 30.62°C y el 11 de septiembre 25.04°C. Otra diferencia que existe entre los dos casos es que las temperaturas sobre 30°C en el caso base – caso 3 es desde las 13:30 a las 18:00 horas correspondientes a horario laboral, en el caso mejorado – caso B es a las 10:30 o sea 0.5 horas en el día dentro del horario laboral y luego de las 18:30 a las 19:00 las cuales ya no corresponden a la permanencia de los trabajadores dentro de este. Según el horario laboral de los trabajadores el cual es de 8:00 a las 18:00 las temperaturas en el caso base – caso 3 esta entre los 16.44°C a 37.49°C, en el caso mejorado – caso B esta entre 15.73°C a 31.16°C. La humedad relativa en el caso mejorado – caso B se encuentra dentro del rango de confort y lo adecuado para el secado del grano, por lo tanto se reduce el tiempo del proceso con respecto a la implementación de los casos base los cuales presentaron una humedad relativa por encima del 70%, sobre el rango adecuado.

#### 4.2.2 Sistemas Pasivos

- Emplazamiento

La orientación para la forma rectangular del invernadero como forma convencional de implementación, genera mayor uniformidad en la captación solar ubicando la sección longitudinal en sentido Norte – Sur a 0°.

- Masa termica

La implementación de masa termica o un material con alta inercia termica como el BTC bloque de tierra comprimida y en doble dimensión en los muros del invernadero nos permitió

verificar la regulación de la humedad relativa al interior dentro del rango requerido para el secado de los granos y confort termico de los trabajadores.

- Ventilación natural

Despues del analisis de los vientos se localiza las areas de entrada y salida del aire, las cuales se ubican en la fachada este parte inferio de esta la que se encuentra mas expuesta a los vientos predominantes y la salida por la cubierta, se calcula las areas de entrada y salida del aire y el indice de renovación. Finalmete el mejor resultado del comportamiento termico se dio en el establecimiento de los horarios de funcionamiento de las aberturas el cual quedo estableciod de las 11:00 a las 18:00.

- Aprovechamiento y captación solar termico

A traves de la cubierta en la cual se verifica que su mejor forma es la curva para permitir un mejor recorrido de la radiación solar sobre esta durante las horas del dia. De la misma manera el material que permita una mayor transmisividad para el aumento de la temperatura al interior.

La implementación de estrategias pasivas como el muro trombe y mas en climas como el de Sogamoso donde la diferencia entre noche y dia es elevada, se localizo en el poniente para captar la radiación solar a partir de aproximadamente las 15:00 y calefaccionar a partir de las 18:00 lo que nos permite dar mas horas de secado al grano.

## CAPITULO 5. CONCLUSIONES

Esta investigación define una tipología de invernadero donde se toma como referencia los wallipines, invernaderos que se han implementado en climas extremos a 3000 msnm, y se encuentra factible la ejecución en Sogamoso, aunque la altura no sobrepasa los 3000 msnm y el clima no es extremo, en verano se presentan temperaturas muy bajas al amanecer que afectan los cultivos y en el caso del secado de los granos se obstaculiza por las bajas temperaturas. También en esta región se cuenta con el material para realizar los BTC (Bloque de tierra comprimida), y cuenta con un patrimonio arquitectónico colonial y construcción en tierra. La base económica de la región es la agricultura y por ende se presenta asociaciones y trabajo comunitario en zonas rurales con acceso restringido, donde esta tipología de invernadero puede ser una de las soluciones tanto para el secado de granos como para cultivos, ya que los materiales son de fácil acceso para estas zonas rurales alejadas. El diseño propuesto establece además su funcionabilidad medidos los parámetros constructivos, volumen, materiales utilizados y aprovechamiento de áreas además de condiciones de regulación en cuanto a su manejo, conservación y mantenimiento medidas las condiciones culturales del área de su implantación.

El invernadero propuesto (Caso mejorado) reduce el tiempo de secado de los granos, ya que aumenta la temperatura interior media anual en 3°C por encima de la temperatura exterior, a diferencia de los invernaderos convencionales los cuales logran 2°C. También se puede verificar con el análisis del comportamiento térmico en el día más caluroso 22 de febrero y el día mas frio 11 de septiembre, donde en este primer día las horas aptas para el secado del grano aumentaron en el caso mejorado con respecto a la temperatura exterior la cual cuenta con solo 6.5 horas, el caso base con 12.5 horas y el caso mejorado con 14.5 horas. En el día más frio la temperatura exterior no cuenta con horas adecuadas para el secado de los granos, el caso base presenta diferencias en cada caso como son; el caso 1 cuenta con 6.5 horas, el caso 2 con 8.0 horas y el caso 3 con 9.5 horas, en el caso mejorado nuevamente se presenta mayor número de horas el caso A cuenta con 11 y el caso B con 11.5. De esta manera reduce los tiempos de secado lo que a la postre permite mayor y mejor cantidad de producto procesado.

La implementación de las estrategias pasivas mostró en los resultados que: Las ganancias solares aumentaron con respecto al caso base, al cambiar la forma de la cubierta y la orientación en sentido longitudinal norte sur  $0^{\circ}$ , donde recibe radiación solar durante el transcurso del día en dirección este – oeste. Los materiales establecidos en la envolvente como el BTC (Bloque de tierra comprimida) y el policarbonato en la cubierta aumentaron la captación de calor al interior y de igual manera la permanencia dentro de este, especialmente el BTC al contemplar el muro doble. La eficiencia del muro trombe se puede observar en el aumento de la temperatura apta para el secado de los granos hasta las 21:30 horas y la temperatura más baja que se presenta desde las 5:00 a las 7:00 horas en el día mas frio con una mínima de  $9.52^{\circ}\text{C}$ , a diferencia del caso base caso 3 siendo el más efectivo dentro de este dónde la temperatura apta para el secado llega hasta las 19:00 horas y la temperatura más baja es de  $3.84^{\circ}\text{C}$  en este mismo día más frio. Por ultimo la estrategia de ventilación natural inducida demuestra su efectividad al aumentar la temperatura interior al implementar un horario de funcionamiento de las aberturas, en el caso mejorado y reducir la humedad relativa al interior.

Los parámetros de diseño regulan la Temperatura, humedad relativa y ventilación del producto, mostraron la efectividad en los resultados como; en el emplazamiento se define la forma rectangular del invernadero como la más adecuada en cuanto a uniformidad en la captación solar, con el sentido longitudinal ubicación norte sur a  $0^{\circ}$ . La implementación de masa termica o BTC y mas en doble dimensión en los muros del invernadero nos permitió verificar la regulación de la humedad relativa al interior dentro del rango requerido para el secado de los granos y confort termico de los trabajadores. La ventilacion se presenta en la fachada este la cual recibe los vientos predominantes con la salida por la cubierta, se establece un horario de funcionamiento de las aberturas propuetas desde las 11:00 a las 18:00 lo que permite regular la temperatura interior y la humedad relativa. El aprovechamiento y captacion solar a traves de los materiales y forma de la cubierta curva permitio el aumento de la temperatura interior.

En el ámbito de los trabajadores, el invernadero propuesto reduce el estrés térmico, ya que el porcentaje de horas en rango de confort es mayor en el caso mejorado caso B con 77%, y en el caso base el de mejor resultado es el caso 1 con 74%, estos se calculan dentro del horario laboral de lunes a domingo de las 8:00 a las 18:00.

Mejora la calidad de vida respecto a la permanencia en los invernaderos, la reducción de los tiempos de labor y su secado que permiten mayor producción con menores tiempos a menor esfuerzo y condiciones de calidad óptimas.

Logra este proyecto, establecer integralmente el uso, su aprovechamiento y su condición de hacer en un proceso que a la vez de entregar un producto final de óptima calidad mejora el bienestar y condición de los trabajadores inmersos.

Establece además que puede ser instalado en áreas que, por su posición geográfica, superior a 3000 msnm, desarrolla procesos productivos a mayor escala en pro de la seguridad alimentaria incorporando técnicas de hacer de bajo costo y mayores rendimientos.

Dado el campo de desarrollo es apto para imponerlo en un mercado donde muchas de las comunidades que pueden ser beneficiarias son de bajos recursos, aislados de centros poblados, en difíciles condiciones de vida y limitaciones de acceso a bienes y servicios.

El proyecto puede ser implementado incluso en áreas libres (patios) de las viviendas, de carácter familiar, o de producción limitada lo que apoya la estrategia de producción en viviendas autosuficientes.

El diseño del prototipo de invernadero (caso mejorado) es el resultado de la implementación de estrategias pasivas, que fueron propuestas para un clima específico en este caso el de Sogamoso, así que dependiendo del lugar y clima los resultados varían. También los efectos del cambio climático no permiten que estos estudios sean tan exactos como se espera, pero aportan ciertos parámetros que, al realizar seguimientos diarios de mediciones al interior del invernadero, permiten que los resultados se puedan mejorar a través de otras estrategias pasivas y/o activas.

Explora la necesidad misma de brindar una opción que repercuta en el manejo de los productos acopiados y su posterior comercialización, con beneficios agregados en la salud y bienestar de sus dependientes.

## BIBLIOGRAFÍA.

1. Foro para la edificación sostenible de la comunitat valenciana. *Guía de estrategias de diseño pasivo para la edificación*. Instituto valencia de la edificación, 2014. ISBN 978-84-96602-78-6.
2. FAO Dirección de producción y protección vegetal. *El cultivo protegido en clima mediterráneo*. Roma.2002.ISBN 92-5-302719-3.
3. Montero Juan I. Invernadero para la producción sostenible en areas de clima de invierno suaves. *Revista Horticultura internacional*.(65): 14-28, 2008.
4. IDEA Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía. Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos. Madrid, 2008. 66 p.
5. El Cultivo de la Quinoa en Colombia y sus perspectivas futuras [en línea]. Cali, Colombia: 2015 - [fecha de consulta: 12 Enero 2018].
6. Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Agrícolas de Almeira. Estudio sobre Estrés Térmico en invernadero y otros parámetros ambientales. 2006. Disponible en: <https://www.ingenierosagricolas.org/termico/p/estudio.pdf>.
7. Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional [en línea]. Santiago: 2017 - [fecha de consulta: 01 Febrero 2018].
8. El cultivo en invernadero y su relación con el clima [en línea]. [Fecha de consulta: 15 Febrero 2018].