



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO**

**PARÁMETROS DE DISEÑO PARA SISTEMAS ACUAPÓNICOS**

**SEMI INDUSTRIALES EN CONCEPCIÓN, CHILE**

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

**AUTOR: JUAN PABLO GARCÉS CHANDÍA**

**PROFESOR GUÍA: DR. GERARDO SAEZER**

**PROFESOR CO-GUÍA: DR. JESÚS PULIDO**

**CONCEPCION, AGOSTO de 2018**

## Resumen

El sector industrial agrícola en Chile presenta una serie de problemáticas, especialmente medioambientales producto del uso indiscriminado de fertilizantes y pesticidas, la influencia de climas extremos en la agricultura y a la deficiente infraestructura agrícola desarrollada en Chile. El estudio y desarrollo de una arquitectura industrial sustentable es cada vez más necesaria, especialmente en el área agrícola. La industria acuapónica (sistemas de recirculación de agua con cultivo de peces y plantas), puede ser una oportunidad de desarrollar cultivos que no afecten negativamente al medio ambiente. La acuaponía es un sistema de cultivo que genera pocos residuos, tiene un manejo eficiente del recurso hídrico, y no requiere de agentes contaminantes (pesticidas y fertilizantes químicos).

Sin embargo, en Chile no existen investigaciones fehacientes que estudien la industria acuapónica con un enfoque arquitectónico, por lo que se propone el estudio de los parámetros de diseño para sistemas acuapónicos semi industriales. Se busca contribuir de forma explorativa, por medio de un programa de simulación energética, en el desarrollo de una metodología que permita determinar los lineamientos de diseño óptimos de los sistemas acuapónicos, de acuerdo las condicionantes de una zona y clima específico del país.

La investigación se enfoca en el estudio del comportamiento pasivo de un invernadero acuapónico semi industrial en la ciudad de Concepción. El invernadero es evaluado medio de simulaciones computacionales realizadas con el programa Design Builder. Se estudian los parámetros de diseño de forma, orientación, porcentaje de aberturas y envolvente. Posteriormente los resultados obtenidos son analizados para establecer los porcentajes de horas en condiciones higrotérmicas favorables (CHF) para el cultivo acuapónico en la ciudad de Concepción.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los parámetros de diseño fueron útiles para estudiar el comportamiento pasivo de un invernadero acuapónico semi industrial. Se pudo visualizar la gran influencia de cada parámetro de diseño y la importancia de la locación geográfica (orientación, vientos predominantes y asoleamiento). La elección de envolvente y porcentaje de aberturas más adecuado dependerá en gran medida si se complementan sistemas mecánicos o activos en el funcionamiento del invernadero.

**Palabras claves:** *Parámetros de diseño, Eficiencia Energética, Arquitectura Industrial, Acuaponía, Invernadero.*

## **Abstract**

The agricultural industrial in Chile presents a series of problems, especially environmental problems due to the indiscriminate use of fertilizers and pesticides, the influence of extreme climatic aspects on agriculture and the deficient agricultural infrastructure developed in Chile. The study and development of a sustainable industrial architecture is increasingly necessary, especially in the agricultural area. The aquaponics industry (water recirculation systems with fish and plant crops) can be an opportunity to develop crops that do not adversely affect the environment. Aquaponics is a farming system that generates waste, an efficient use of water resources and pesticides and chemical fertilizers.

However, in Chile there is no reliable research that studies the aquaponics industry with an architectural approach, so it is proposed to study the design parameters for semi-industrial aquaponic systems. We seek to contribute in an explorative way, through an energy simulation program, in the development of a methodology that allows us to determine the optimal design guidelines of the aquaponic systems, according to the conditions of a specific zone and climate of the country.

The research focuses on the study of the passive behavior of a semi-industrial aquaponic greenhouse in the city of Concepción. The greenhouse is evaluated through computational simulations made with the Design Builder program. Design parameters of shape, orientation, percentage of openings and envelope are studied. Subsequently, the results obtained are analyzed to establish the percentages of hours in favorable hygrothermal conditions (CHF) for the aquaponic crop in the city of Concepción.

According to the results, the design parameters were useful to study the passive behavior of a semi-industrial aquaponic greenhouse. It was possible to visualize the great influence of each design parameter and the importance of the geographical location (orientation, prevailing winds and sunlight). The choice of envelope and percentage of openings more appropriate depend on whether mechanical systems or active in the operation of the greenhouse are complemented.

**Keywords:** *Design Parameter, Energy Efficiency, Industrial Architecture, Aquaponics.*

## Índice

Capítulo 1.	Antecedentes .....	5
1.1	Introducción .....	5
1.2	Problemática de Investigación .....	7
1.3	Hipótesis.....	10
1.4	Objetivos .....	10
1.5	Metodología .....	11
Capítulo 2.	Marco Teórico .....	13
2.1	Sistemas Acuapónicos.....	13
2.1.1	Funcionamiento y Teoría de Sistemas Acuapónicos.....	13
2.1.2	Técnicas de cultivo acuapónico.....	18
2.1.3	Tipos producción y requerimientos .....	21
2.1.4	Escalas y usos .....	25
2.1.5	Construcción de un Sistema Acuapónico: teoría y práctica.....	26
2.2	Infraestructura y eficiencia energética de invernaderos .....	33
2.2.1	Invernadero: Definición y ventajas .....	33
2.2.2	Invernaderos en Chile .....	34
2.2.3	Forma y orientación de un invernadero.....	36
2.2.4	Materiales de envolvente: .....	38
2.2.5	Técnicas pasivas de ahorro energético en invernaderos .....	45
Capítulo 3.	Estudio de parámetros de diseño pasivo .....	51
3.1	Alcances y límites de investigación .....	52
3.2	Presentación del caso de estudio.....	53
3.3	Caso Base Parametrización: factor de forma, orientación y porcentaje de aberturas.....	56
3.3.1	Factor de forma.....	59



3.3.2	Orientación.....	62
3.3.3	Porcentaje de aberturas.....	66
3.4	Caso Mejorado: Evaluación de la Envoltente y porcentaje de aberturas.....	76
Capítulo 4.	Conclusiones .....	90
4.1	Conclusiones Generales .....	90
4.2	Propuesta de futuras investigaciones .....	92
	Referencias bibliográficas .....	93
	ANEXO A.....	95
	ANEXO B.....	115

## **Capítulo 1. Antecedentes**

### **1.1 Introducción**

El desempeño de diferentes edificios apuntan a una serie de necesidades, ya sean habitacionales, recreativas, trabajo o procesos industriales. Estas estructuras, además de contar con funciones específicas, buscan generar las condiciones internas apropiadas para el desarrollo de sus actividades particulares. Es ampliamente entendido que la arquitectura ha logrado dar solución a las problemáticas habitacionales, si bien esta obedece y responde a necesidades determinadas, también lo ha sido para el caso de los procesos industriales.

Tradicionalmente, la industria ha sido asociada a un impacto ambiental negativo, sin embargo; este paradigma está cambiando con el desarrollo de industrias que buscan procesos más sustentables y eficientes, logrando mejores resultados productivos a un menor costo.

A nivel nacional existen variados referentes de arquitectura industrial que han logrado optimizar los procesos productivos mediante el manejo de los parámetros de diseño, entre los cuales destaca la orientación, la forma, soluciones constructivas, estrategias pasivas, entre otros. Esto se traduce en beneficios significativos, especialmente en gastos operacionales y condiciones ambientales adecuadas tanto para operarios como para los procesos industriales. Un claro ejemplo, son los proyectos de Guillermo Hevia, arquitecto quien ha diseñado las instalaciones de Cristal Chile, Fasa, Almazara Olisur, entre otros. Si bien estos proyectos corresponden a distintas áreas industriales, todos incorporan distintas estrategias de bioclimática. De igual forma, esto ocurre en la arquitectura vinícola, en proyectos como Viñas Vik, Clos Apalta y Perez Cruz, en las cuales la implementación de distintas estrategias pasivas son fundamentales para la producción y conservación del vino.

Debido a esto se advierte la importancia de promover y desarrollar líneas investigativas que permitan seguir avanzando en el diseño integrado y eficiencia energética de la arquitectura industrial en Chile, y de este modo prever las posibles problemáticas de desempeño energético, habitabilidad y producción.

El sector industrial agrícola en Chile presenta una serie de problemáticas las cuales dificultan su buen funcionamiento. Entre ellas podemos destacar la presencia de un sistema alimentario deficiente, la producción en tierras cultivables en regiones extremas de nuestro país son muy bajas en relación a las centrales, lo que genera la necesidad de transportar alimentos por largos trayectos, aumentando su costo. Cabe mencionar que dichas problemáticas en las regiones extremas se agrega el factor climático lo que dificulta aún más la implementación de los mecanismos necesarios para la producción de alimentos regionales. (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, 2017). Si bien el fuerte productivo se encuentra en la zona centro, el uso indiscriminado de fertilizantes, pesticidas, herbicidas generan una serie de problemáticas ambientales entre las cuales destaca la contaminación y eutrofización de recursos hídricos, poniendo en riesgo áreas de reservas de biosfera como lo es el caso de la ciudad de Quillota y la reserva La Campana. (Moreira, y otros, 2014)

La acuaponía refleja la esencia de esta transición de paradigma sobre la industria, la que consiste en la integración de la acuicultura y la hidroponía en un sistema de producción, en donde el agua del estanque de los peces se hace circular primero por filtros, luego hacia las camas de cultivo de plantas y finalmente devuelta a los peces, es decir, es un técnica de cultivo de peces y plantas en un sistema de recirculación de agua (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, 2014)

Si bien este sistema productivo ofrece una solución a gran parte de las problemáticas del sector agrario del país, surge la necesidad de enfrentar las problemática de los desafíos arquitectónicos para la implementación de los sistemas acuapónicos en distintas zonas de Chile a través de una herramienta metodológica que permita establecer los parámetros de diseño adecuados para su buen funcionamiento e implementación.

## 1.2 Problemática de Investigación

En Chile, la industria de los alimentos es extremadamente relevante, en especial la relacionada a la agricultura. *“El 54% de las explotaciones agrícolas están en las regiones de La Araucanía, del Biobío y del Maule. Por otro lado, entre el extremo norte del país y la Región de Coquimbo sólo se localiza el 8,4% de las explotaciones, cifra que no supera el 1,8% en Aysén y Magallanes”* (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, 2017 pág. 21). Esta producción centralizada se debe en gran medida a problemáticas asociadas a cada zona del país, por un lado en la zona norte el mayor desafío es la disponibilidad y acceso al recurso hídrico y riego, y por otro lado en la zona sur el mayor inconveniente para poder desarrollar una agricultura productiva es el clima adverso. En consecuencia la zona central ha debido desarrollar una agricultura altamente intensiva que ha tenido consecuencias negativas en el medio ambiente, como lo es el uso excesivo de pesticidas o plaguicidas y fertilizantes, lo que ha causado intoxicaciones y contaminación del suelo en forma de depósitos de nitrógeno y de los sistemas hídricos.

La industria agrícola nacional está fuertemente condicionada por los factores del medio ambiente, por ejemplo la región de Arica y Parinacota se caracteriza por abastecer al país de ciertas hortalizas en otoño-invierno, el norte chico de Chile abastece en primavera; y en cambio en la zona sur se presentan características climáticas aptas para un grupo de cultivos hortícolas que en ciertas épocas del año abastecen sólo a los mercados locales (ver figura 1.2). *“De acuerdo al último Censo Agropecuario (2007), alrededor de 2% de la superficie total de hortalizas se cultiva bajo invernadero. Estas áreas son muy importantes, ya que su producción permite ampliar la oferta de hortalizas durante el año, así como abastecer las distintas regiones a lo largo del país.”* (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, 2017 pág. 73)

La arquitectura industrial tiene la capacidad de hacerse cargo de estas problemáticas y desarrollar entornos controlados que maximicen las producciones y minimicen de riesgos asociados a la variabilidad climática, que tienen cada vez más impacto en el país. Surge la oportunidad de estudiar la manera óptima de desarrollar una arquitectura industrial sustentable, capaz de desarrollar una agricultura más amigable con el medio ambiente, es decir, que genere pocos residuos, con un uso eficiente del recurso hídrico, y que no requiera de agentes contaminantes (pesticidas y fertilizantes químicos). Estos principios se ven reflejados en la esencia de la acuaponía, la cual ha sido ampliamente difundida en países desarrollados como EEUU y gran parte de países de la unión europea (Bélgica, Alemania, Italia, España y países nórdicos). Una de las principales necesidades de un sistema acuapónico son las temperaturas

aptas para especies específicas de peces y plantas. Proporcionar condiciones estables para ambos componentes es crucial, ya que las fluctuaciones de temperatura pueden dañar a los peces, las plantas y los microorganismos nitrificantes. Para evitar o minimizar el costo asociado al calentamiento o enfriamiento del agua es importante evaluar y catastrar las especies adecuadas para los distintos climas de Chile.

*“Dado el hecho de que la acuaponía sigue los principios de la reutilización de nutrientes y agua, parece ser una solución prometedora para la acuicultura sostenible y las prácticas hidropónicas. Sin embargo, se necesitan más investigaciones y desarrollos, con el objetivo de establecer sistemas acuapónicos completamente controlados y estandarizados que sean fáciles de manejar y que sean económicamente viables. La competitividad del método de producción depende de los desarrollos tecnológicos, los mercados locales y las condiciones climáticas y geográficas que deben evaluarse y no pueden generalizarse”. (Goddek, y otros, 2015 pág. 20)*

Un estudio acabado de la industria acuapónica en Chile, ayudará en gran medida a validar el sistema en los distintos climas y determinar los lineamientos de diseño óptimos para cada zona. Es primordial el desarrollo de herramientas metodológicas que establezcan los parámetros de diseño adecuados, con el objetivo de prever y disminuir la demanda energética, establecer los lineamientos base de diseño arquitectónico y garantizar las condiciones óptimas de producción.

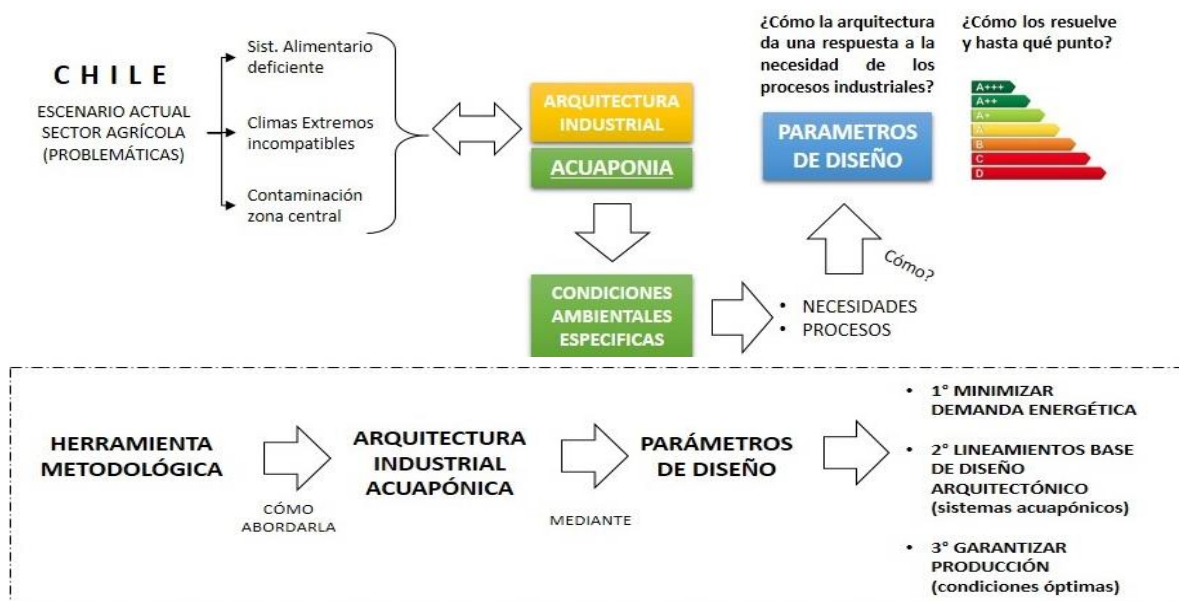


Figura 1.1: Diagramas sobre la problemática de la investigación

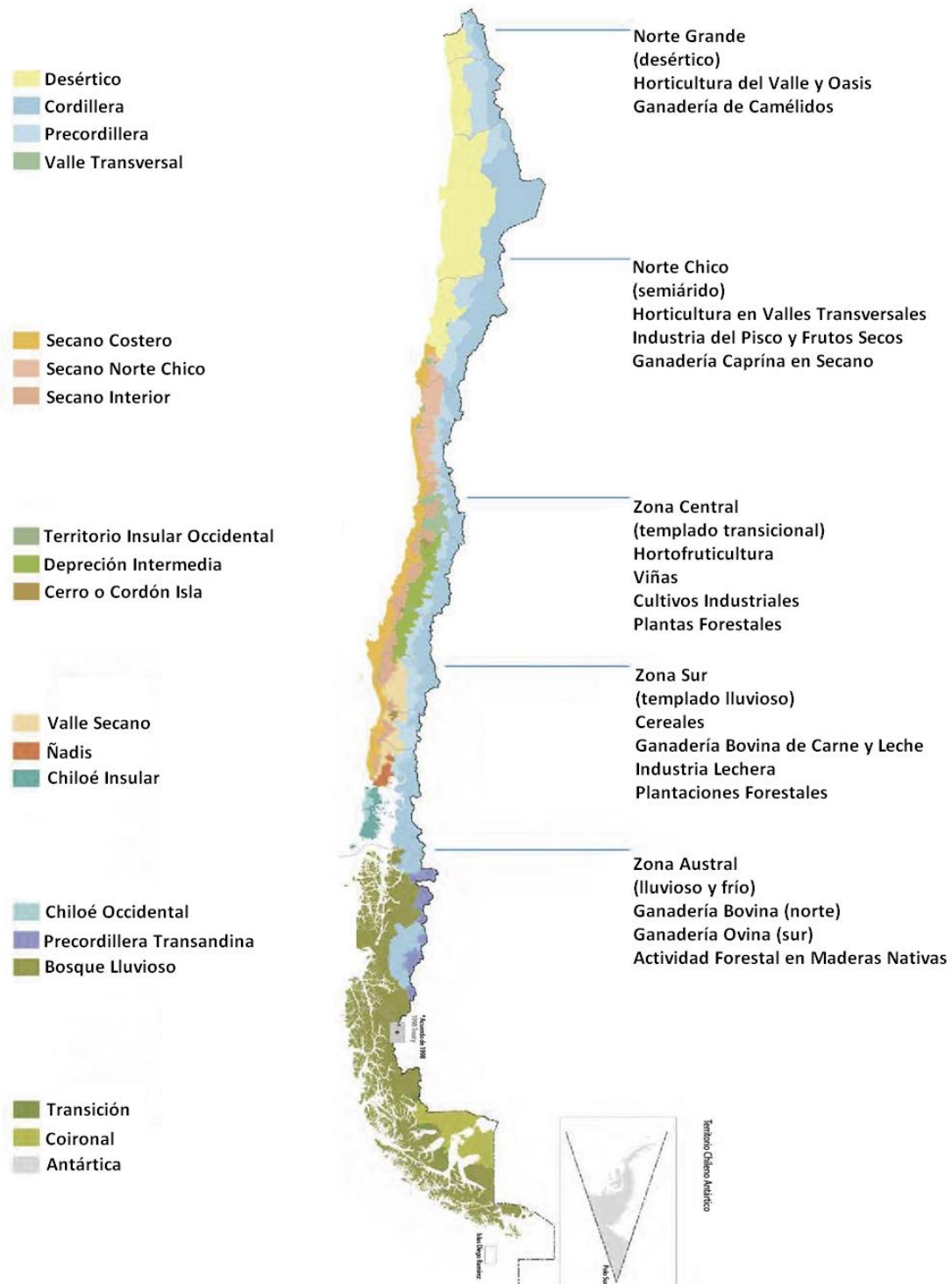


Figura 1.2: Áreas homogéneas ambientales y sus patrones dominantes en el uso del suelo

### **1.3 Hipótesis**

El buen manejo de los parámetros de diseño en los sistemas acuapónicos permitirá implementar estos tipos de cultivos de forma eficiente en la ciudad de Concepción, posibilitando adaptar la incidencia de las condiciones climáticas a los requerimientos necesarios para el buen funcionamiento y producción de estos sistemas, obteniendo un manejo interior del 80% del tiempo en condiciones higrotérmicas favorables (CHF) bajo la implementación de estrategias pasivas.

### **1.4 Objetivos**

#### Objetivo Principal

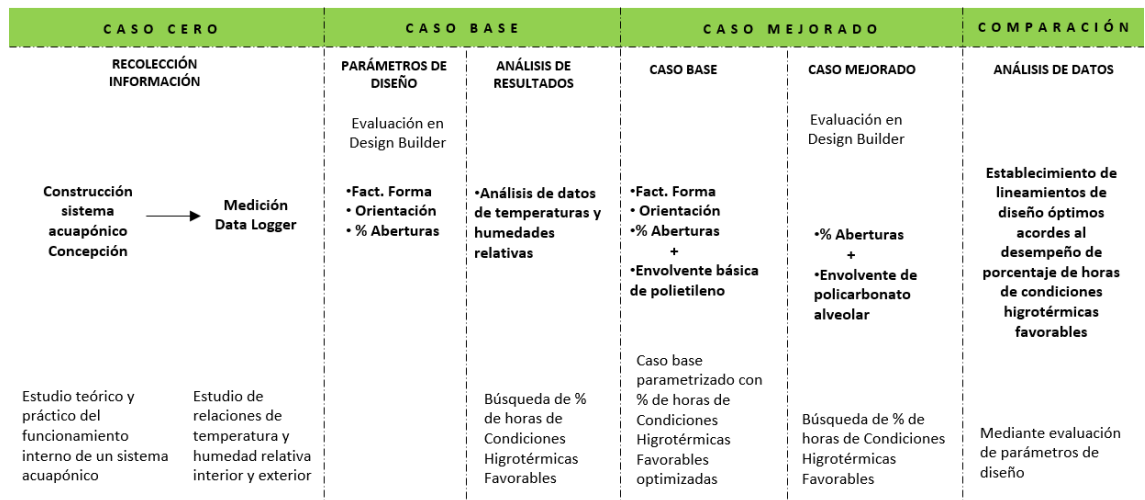
- Evaluar el desempeño de los Parámetros de Diseño aplicables a un sistema acuapónico semi industrial en Concepción, para luego comparar y establecer las soluciones óptimas de cada uno de ellos.

#### Objetivos Secundarios

- Estudiar los componentes de un sistema acuapónico para identificar sus requerimientos mínimos de funcionamiento.
- Proponer y analizar un caso de estudio de un sistema acuapónico de escala semi industrial en la ciudad de Concepción, para poder determinar su máximo desempeño en horas con condiciones higrotérmicas favorables (CHF), mediante la parametrización de factor de forma, orientación y porcentaje de aberturas.
- Comparar la incidencia en el porcentaje de horas de condiciones higrotérmicas favorables (CHF) de una envolvente de una solución básica versus una envolvente de mejor desempeño térmico.
- Comparar y decidir los lineamientos de diseño óptimos mediante la evaluación de los distintos parámetros de diseño analizados.

### 1.5 Metodología

De acuerdo al siguiente diagrama, la metodología abordada consta de cuatro etapas, donde cada una responde al cumplimiento de los objetivos propuestos anteriormente.



**Figura 1.3: Esquema de la metodología y detalle de las 4 etapas (caso cero, caso base, caso mejorado y comparación)**

#### Etapa 1: Caso Cero

Se recopila información del funcionamiento de los sistemas acuapónicos, sus partes, funciones e interacciones entre sí. De esta forma se obtendrá el conocimiento teórico necesario para la puesta en marcha de un sistema acuapónico, el cual tendrá la función de actuar como un “caso cero”. En dicho caso cero se recolectará información relevante (temperatura y humedad relativa) mediante la instalación de data loggers en el interior y exterior del sistema construido. De esta forma se espera visualizar el comportamiento de la temperatura y humedad relativa exterior del invernadero, la temperatura y humedad relativa del interior, como así también la temperatura del agua del estanque de los peces durante un periodo de tiempo acotado.



### Etapa 2: Caso Base

Se establecen los parámetros de diseño de carácter pasivo, con los cuales se realizarán las simulaciones necesarias y así determinar la o las soluciones más óptimas. La parametrización se efectuará primeramente en base al factor de forma, la orientación y porcentaje de abertura de ventanas, con una envolvente de polietileno de baja densidad. Dicha parametrización se realizará mediante el software Design Builder, el cual entregará los datos de temperatura y humedad relativa, los que luego serán analizados para establecer los porcentajes de horas en condiciones higrotérmicas favorables (CHF) para el cultivo acuapónico en la ciudad de Concepción. Finalmente se propone un programa de manejo de aberturas del invernadero de acuerdo a meses y horarios específicos, para lograr las condiciones higrotérmicas favorables de forma pasiva.

### Etapa 3: Caso Mejorado

Se determinará la incidencia de la envolvente en el porcentaje de horas en condiciones higrotérmicas favorables, mediante el estudio comparativo de la solución parametrizada en la etapa 2 y un caso con una envolvente de mejor desempeño térmico (policarbonato alveolar). Este estudio se desarrollará igualmente con el software computacional Design Builder, el cual entregará los datos de temperatura y humedad relativa, los que luego serán analizados para establecer los porcentajes de horas en condiciones higrotérmicas favorables (CHF) para el cultivo acuapónico en la ciudad de Concepción. Se propondrá un programa de manejo de aberturas del invernadero acorde a las mejoras de la nueva envolvente, de acuerdo a meses y horarios específicos, con el fin de lograr las condiciones higrotérmicas más favorables de manera pasiva.

### Etapa 4: Comparación

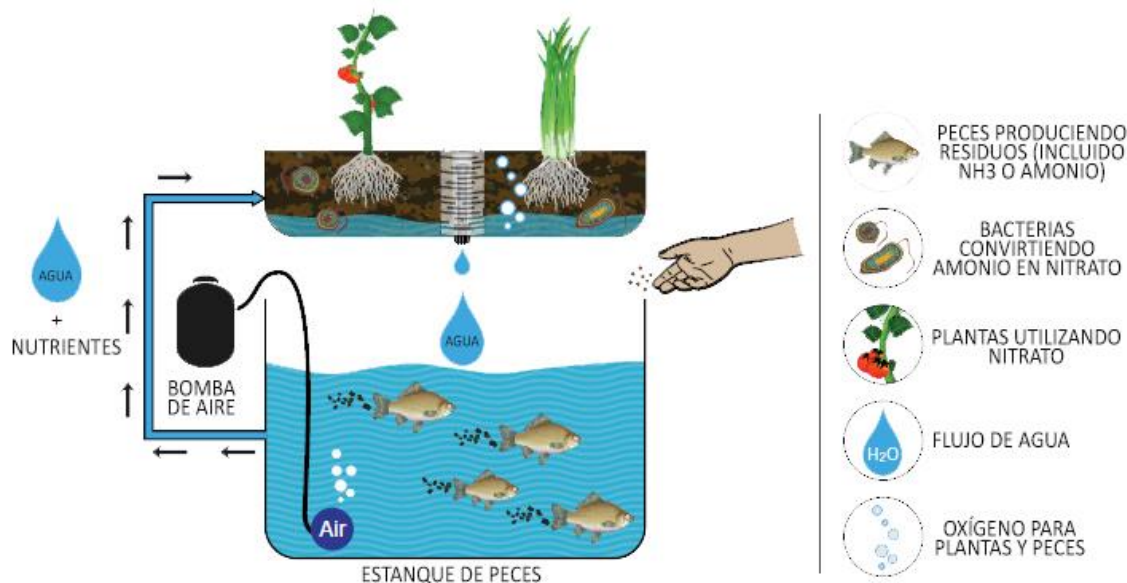
Finalmente se comparará el caso parametrizado de la etapa 2 y el caso mejorado de la etapa 3, de acuerdo a los datos de temperatura, humedad relativa y condiciones higrotérmicas favorables. De este modo se podrá establecer los lineamientos de diseño base (factor forma, orientación), la incidencia de la envolvente en el porcentaje de CHF, y establecer el programa de manejo de aberturas del invernadero acorde a la envolvente utilizada, de acuerdo a meses y horarios específicos.

## Capítulo 2. Marco Teórico

### 2.1 Sistemas Acuapónicos

#### 2.1.1 Funcionamiento y Teoría de Sistemas Acuapónicos

La acuaponía consiste en sistemas de recirculación para la acuicultura (SRA), donde se cultivan peces y plantas a la vez, lo cual es posible dado que los requisitos para el crecimiento de peces son muy similares a los necesarios para el cultivo de plantas. Los SRA están diseñados para cultivar grandes cantidades de peces en volúmenes relativamente pequeños de agua, debido a su capacidad de tratar el agua removiendo los productos tóxicos y luego reutilizar el agua. Durante el proceso continuo de tratamiento y reutilización, los nutrientes no-tóxicos y la materia orgánica se acumulan en el agua, los que pueden ser de gran valor al ser usados en el cultivo de plantas. (Timmons, 2002) (ver figura 2.1)



**Figura 2.1: Los componentes biológicos en el proceso de acuaponía: peces, plantas y bacterias**

(Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, 2014 pág. 11)

El diseño de un sistema acuapónico debe considerar dos aspectos críticos del rendimiento: tamaño mínimo para la eliminación de sólidos suspendidos y componentes de biofiltración relativo a la cantidad de peces criados, así como también la proporción entre los componentes hidropónicos y el cultivo de peces. Hay un equilibrio entre la cantidad de peces, la cantidad de plantas y el tamaño del biofiltro, y por ende la cantidad de bacterias.

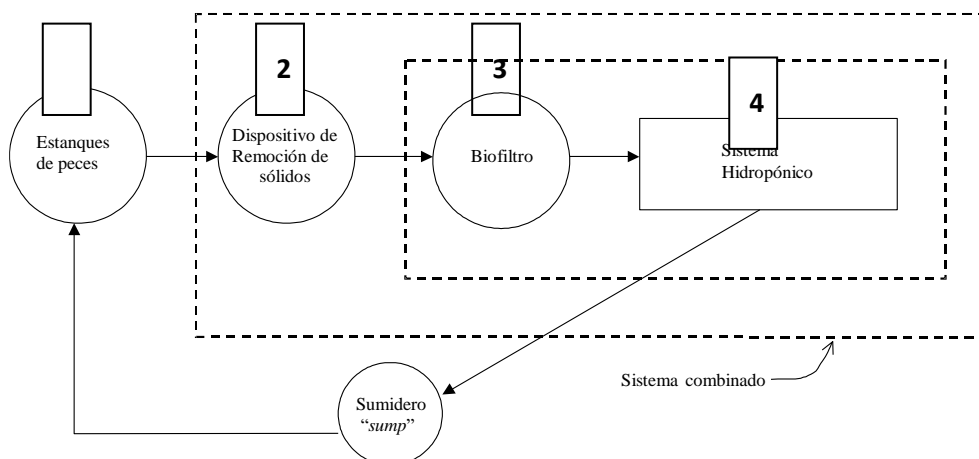
Hay proporciones determinadas experimentalmente entre el tamaño del biofiltro, la densidad de plantas y la densidad de población de peces para la acuaponía. En la Tabla 2.1 se ejemplifica una tabla comparativa de dimensionamiento de los componentes de un sistema acuapónico de pequeña escala desarrollado por la FAO, en donde el número de estos componentes puede variar dependiendo de la configuración y escala del sistema acuapónico.

**Tabla 2.1: Guía práctica de diseño de sistemas para unidades acuapónicas de pequeña escala (FAO- (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, 2014))**

Volumen del Estanque de peces (Lt)	Biomasa máx. de peces (kg)	Velocidad de alimentación (g / día)	Caudal de la bomba (Lt/h)	Volumen de filtros (Lt)	Volumen mín. de biofiltro (Lt)		Área de cultivo de plantas (m <sup>2</sup> )
					Roca volcánica	Bioballs	
200	5	50	800	20	50	25	1
500	10	100	1200	20-50	100	50	2
1000	20	200	2000	100-200	200	100	4
1500	30	300	2500	200-300	300	150	6
2000	40	400	3200	300-400	400	200	8
3000	60	600	4500	400-500	600	300	12

### Componentes Principales de un Sistema Acuapónico:

Todos los sistemas acuapónicos comparten varios componentes comunes y esenciales. Éstas incluyen: un estanque de peces, un filtro mecánico, un biofiltro, y contenedores hidropónicos (Ver Figura 2.2).



**Figura 2.2: Configuración Óptima de Componentes de un Sistema Acuapónico. Los componentes encerrados en rectángulos pueden ser combinados en una unidad multifuncional. (Timmons, 2002)**

**1 - Estanque de peces:** es un componente crucial del sistema, ya que los peces requieren ciertas condiciones para sobrevivir y prosperar. Se debe elegir conscientemente, considerando aspectos que incluyen la forma, la materialidad y el tamaño.

Aunque cualquier forma de estanque funcionará, ésta afecta en gran medida la circulación del agua. Se recomiendan tanques redondos con fondos planos, ya que permite que el agua circule de manera uniforme y transporta los desechos sólidos hacia el centro del tanque mediante la fuerza centrípeta. Es importante además elegir un estanque que se ajuste a las características de las especies acuáticas criadas porque muchas especies de peces de fondo muestran un mejor crecimiento y menos estrés con un espacio horizontal adecuado.

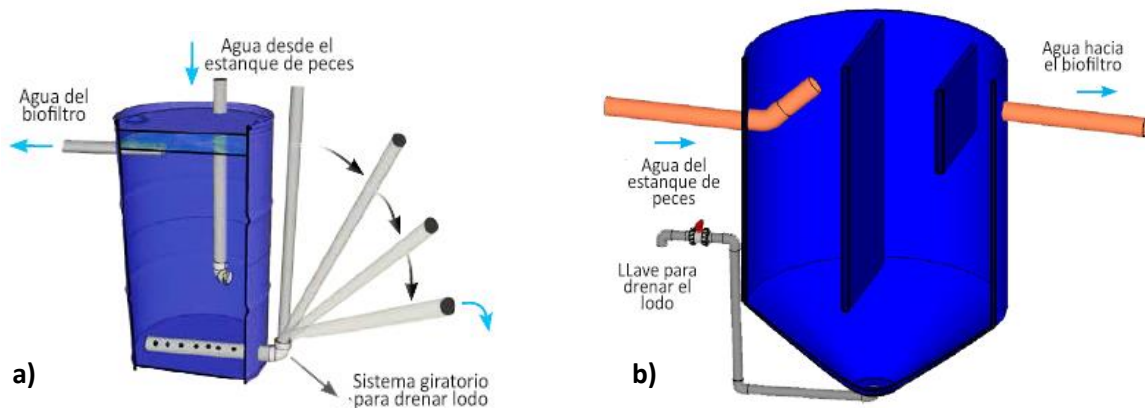
En cuanto a la materialidad del estanque el metal no es recomendable debido al óxido, en cambio se recomienda usar plástico fuerte inerte o fibra de vidrio debido a su durabilidad y larga vida útil, así como también por la fácil instalación de tuberías, y maniobrabilidad (ver figura 2.3). Otra opción es un estanque en el suelo; que pueden ser naturales, o de cemento o revestidos de plástico. Los primeros son muy difíciles de manejar para la acuaponía porque los procesos biológicos naturales pueden ser difíciles de manipular, en cambio los últimos son mucho más aceptables y pueden ser una opción económica. Los estanques enterrados pueden dificultar las operaciones de fontanería.

Los estanques de peces deben estar cubiertos, ya que la sombra es necesaria para prevenir el crecimiento de algas, para evitar que los peces salten, y para evitar la entrada de elementos ajenos al sistema.



**Figura 2.3: Ejemplo de estanques de peces de sistema acuapónico comercial**

**2- Filtro Mecánico:** el sistema de filtros son componentes esenciales para el funcionamiento exitoso de un sistema acuapónico. El agua del estanque de los peces primero es enviada a un filtro mecánico, en donde los desechos sólidos de los peces se eliminan del agua. Es esencial eliminar estos desechos para la salud del sistema, ya que las bacterias anaeróbicas liberan gases dañinos si los desechos sólidos se descomponen dentro de los tanques de peces. Además, los desechos pueden obstruir los sistemas y alterar el flujo de agua, causando condiciones anóxicas a las raíces de las plantas. Hay muchos tipos de filtros mecánicos, incluidos los tanques de sedimentación, los clarificadores de flujo radial, los filtros de arena o perlas y los filtros deflectores; cada uno de ellos se puede usar de acuerdo con la cantidad de desechos sólidos que se deben eliminar. (Ver figura 2.4)

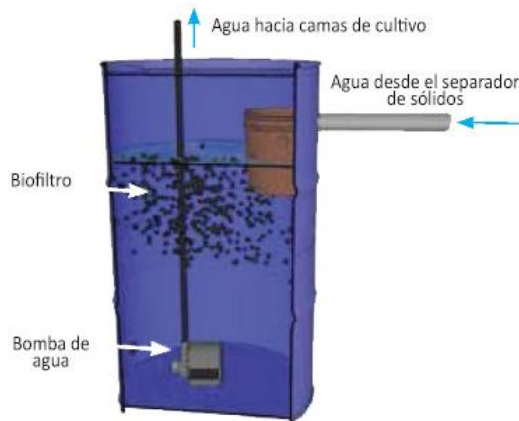


**Figura 2.4:** a) Diagrama de un separador mecánico de sólidos para un sistema acuapónico de pequeña escala. B) Diagrama de separador de sólidos con deflectores apropiado para un sistema de escala comercial e industrial

**3- Filtro Biológico:** luego de que el agua ha circulado por el filtro mecánico ésta se dirige a un biofiltro que procesa los desechos disueltos. *“El biofiltro aloja las bacterias encargadas de convertir el amoníaco, que es tóxico para los peces, en nitrato, un nutriente más accesible para las plantas. Este proceso se llama nitrificación. A medida que el agua (que contiene nitrato y otros nutrientes) viaja a través de las camas de cultivo de plantas, las plantas absorben estos nutrientes y, finalmente, el agua regresa al tanque de peces purificado. Este proceso permite que los peces, las plantas y las bacterias prosperen simbióticamente y trabajen juntos para crear un ambiente de crecimiento saludable para el otro, siempre que el sistema esté equilibrado adecuadamente”.* (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, 2014 pág. 4)



El volumen mínimo del biofiltro debe ser una sexta parte del estanque de peces. Otro componente requerido para el biofiltro es la aireación u oxigenación, ya que las bacterias nitrificantes necesitan un acceso adecuado al oxígeno para oxidar el amoníaco, así como también estar en un ambiente protegido del sol, ya que afecta la subsistencia de las bacterias. (ver figura 2.5)



**Figura 2.5: Diagrama de un biofiltro a pequeña escala.**

**4- Cultivo hidropónico:** el espacio destinado a la producción de plantas. Muchos subsistemas hidropónicos han sido usados en la acuaponía. Existen varios sistemas, por ejemplo: camas de gravilla, las películas de nutrientes (NFT) y unidades de cultivo en aguas profundas (DWC) (ver figura 2.6). Éste último sistema de cultivo hidropónico es el ideal para el cultivo de vegetales verdes con hojas y otros tipos de vegetales a gran escala. Cada método tiene ventajas y desventajas, todos con diferentes estilos de componentes para satisfacer las necesidades de cada método.



**Figura 2.6: Ejemplo de cultivo NFT (izquierda) y de cultivo DWC (derecha)**

### 2.1.2 Técnicas de cultivo acuapónico

Existente distintas técnicas de cultivos para los sistemas acuapónicos. Entre las más estudiadas e implementadas destacan las siguientes:

#### Cama de sustrato (Media Bed, MB) (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, 2014)

Esta técnica se caracteriza por tener camas de cultivo rellenas de gravilla o piedra, las cuales actúan como sustrato para las plantas. Es importante mencionar que estas camas, además de funcionar como áreas de cultivo, también trabajan como mecanismo de filtración de sólidos siendo una de las más fáciles de implementar. Esto gracias a su sistema de sifón de campana, el cual desagua cíclicamente las camas favoreciendo la aireación de las raíces. (ver figura 2.7)

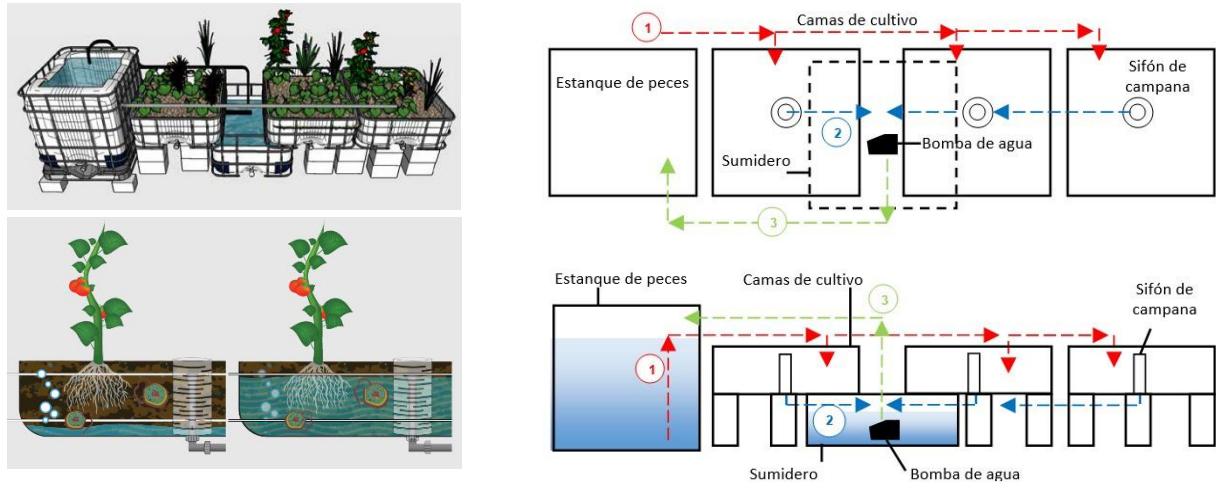


Figura 2.7: Técnica de cultivo acuapónico cama de sustrato

#### Fortalezas

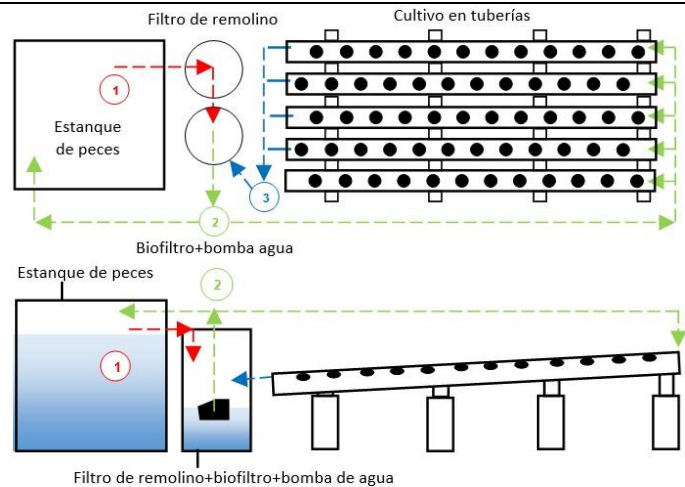
- Compatible con cultivos de frutos altos.
- Compatible con todo tipo de cultivos.
- Múltiples técnicas de riego.
- Compatibilidad con distintos tipos de sustrato.
- Altivo nivel de aireación de raíces.
- Bajo consumo energético.
- Captación y mineralización de sólidos en las camas de cultivo

#### Debilidades

- Sistema pesado debido al sustrato.
- Alto nivel de evaporación en comparación a las otras técnicas de cultivo.
- Los ciclos de inundación y drenaje requieren de un cálculo cuidadoso para el volumen de agua.
- El trasplante de cultivos requiere mayor mano de obra.
- Si el flujo de riego no es uniforme, el rendimiento de los cultivos puede variar de una cama a otra.

**Película de nutrientes (Nutrient Film Technique, NFT)** (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, 2014)

Esta técnica de cultivo se utiliza de igual forma en la hidroponía, se caracteriza por usar tubos horizontales, cada uno con un flujo superficial de agua rica en nutrientes que fluye a través de ella. Las plantas se colocan dentro de agujeros en la parte superior de las tuberías, y son capaces de utilizar esta delgada película de agua rica en nutrientes la cual ha sido filtrada y procesada previamente en los estanques de clarificación y de biofiltro. (ver figura 2.8)



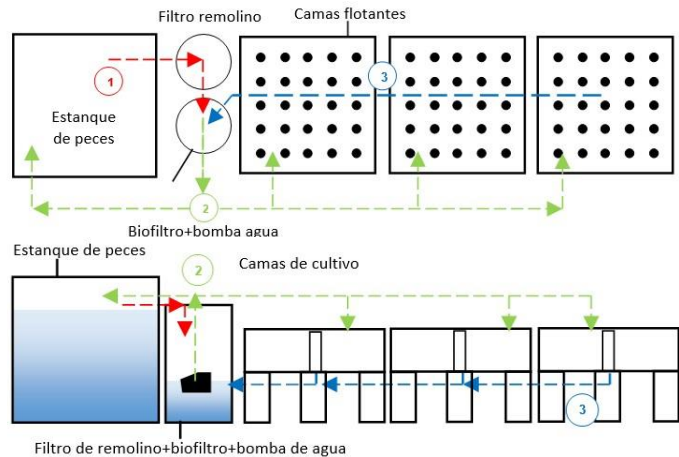
**Figura 2.8: Técnica de cultivo acuapónico película de nutrientes**

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más rentable que las camas de gravilla (a gran escala).</li> <li>• Ideal para hierbas y plantas de hojas verdes.</li> <li>• Sistema de peso liviano.</li> <li>• Sistema más adecuado para techos.</li> <li>• Sistema de cosecha simple.</li> <li>• Menor volumen de agua utilizado.</li> <li>• Menor mano de obra necesaria para cosechar.</li> <li>• Adecuado para cultivos comerciales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesidad de métodos de filtración más complejos.</li> <li>• Uso imprescindible de bombas de agua y aireación.</li> <li>• No se puede sembrar directamente.</li> <li>• Menor volumen de agua significa mayor riesgo en la calidad del agua.</li> <li>• Aumenta la fluctuación de temperatura del agua (estrés para los peces).</li> <li>• Facilidad de obstrucción de tuberías de agua.</li> <li>• Vulnerable ante cortes de energía.</li> </ul>



**Cama flotante (Deep wáter culture, DWC) (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, 2014)**

Esta técnica de cultivo implica la suspensión de las plantas en una lámina de poliestireno expandido, con sus raíces suspendidas en el agua. Este método es el más común en los sistemas comerciales de gran escala ya que permite la producción de un cultivo específico (típicamente lechuga o albahaca) siendo el más adecuado para sistemas mecanizados. Al igual que en la técnica de película de nutrientes, el agua que ingresa a las camas de cultivos es previamente procesada en los estanques de clarificación y biofiltro. (figura 2.9)



**Figura 2.9: Técnica de cultivo acuapónico cama de sustrato**

**Fortalezas**

- Más rentable que las camas de gravilla (a gran escala).
- El gran volumen de agua amortigua los cambios en la calidad del agua.
- Puede soportar interrupciones cortas de electricidad.
- Mínima evaporación de agua.
- Las placas de poliestireno aíslan térmicamente el agua manteniendo la temperatura constante.
- El cambio de placas facilita el cultivo y cosecha.
- Puede contener distintos tipos de densidad de cultivos.
- Adecuado para cultivos comerciales

**Debilidades**








- Método de filtración más complejos.
- Sistema pesado debido al volumen de agua.
- Requiere mayores niveles de oxígeno disuelto y bombas de aireación más sofisticadas.
- Placas de poliestireno se rompen con facilidad.
- Plantas de gran tamaño son más difíciles de soportar.
- El gran volumen de agua aumenta la humedad aumentando el riesgo de enfermedades por hongos.

### 2.1.3 Tipos producción y requerimientos

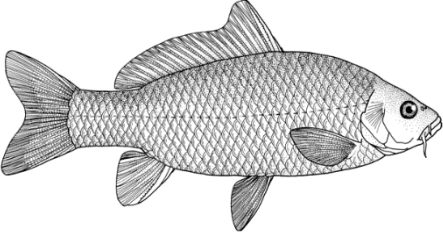
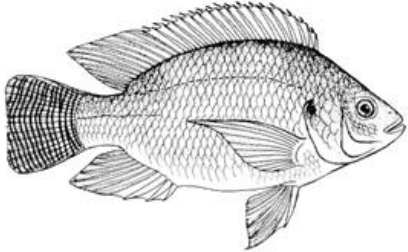
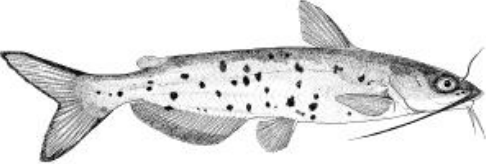
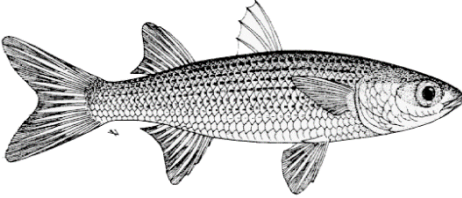
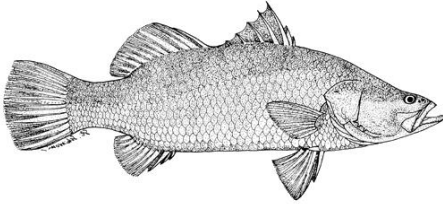
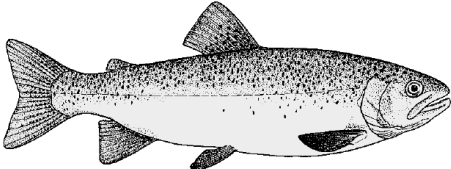
La selección de las especies a producir en los sistemas acuapónicos es crucial, ya que la rentabilidad y volumen de producción dependerá en gran parte de la compatibilidad de especies en relación a sus condiciones ambientales específicas de crecimiento. Para la producción de plantas, además de compatibilizar los rangos de temperatura, también se deberá tener en cuenta la técnica de cultivo (ver tabla 2.2 y 2.3).

**Tabla 2.2: Tabla de plantas compatibles con sistemas acuapónicos de acuerdo a las técnicas de cultivo**

Especie	Temperatura (°C)		Técnica de Cultivo	Imagen
	Vital	Optima		
Albahaca <i>Ocimum basilicum</i>	18-32	20-25	Camas de sustrato Película de nutrientes Camas de agua	
Coliflor <i>Brassica oleracea var. botrytis</i>	10-25	20-25	Camas de sustrato	
Lechuga <i>Lactuca sativa</i>	13-22	15-22	Camas de sustrato Película de nutrientes Camas de agua	
Pepino <i>Cucumis sativus</i>	18-30	22-28	Camas de sustrato Camas de agua	
Berenjena <i>Solanum melongena</i>	15-30	22-26	Camas de sustrato	

<p>Pimiento <i>Capsicum annuum</i></p>	13-30	22-30	Camas de sustrato	
<p>Tomate <i>Solanum lycopersicum</i></p>	13-30	22-26	Camas de sustrato Camas de agua	
<p>Porotos <i>Phaseolus vulgaris</i></p>	16-26	22-26	Camas de sustrato	
<p>Repollo <i>Brassica oleracea var. capitata</i></p>	8-29	15-20	Camas de sustrato	
<p>Brocoli <i>Brassica oleracea var. italica</i></p>	13-25	13-18	Camas de sustrato	
<p>Acelga <i>Beta vulgaris subsp. vulgaris</i></p>	16-30	16-24	Camas de sustrato Película de nutrientes Camas de agua	
<p>Kale <i>Brassica oleracea var. Sabellica</i></p>	5-35	20-30	Camas de sustrato Camas de agua	

**Tabla 2.3: Tabla de peces compatibles con sistemas acuapónicos de acuerdo a las técnicas de cultivo**

Especie	Temperatura (°C)		Imagen
	Vital	Optima	
Carpa Comun <i>Cyprinus carpio</i>	4 – 34	25 - 30	
Tilapia del Nilo <i>Oreochromis niloticus</i>	14 – 36	27 – 30	
Bagre <i>Ictalurus punctatus</i>	5 – 34	24 - 30	
Lisa <i>Mugil cephalus</i>	8 - 32	20 - 27	
Barramundi <i>Lates calcarifer</i>	18 – 34	26 - 29	
Trucha Arcoíris <i>Oncorhynchus mykiss</i>	10 -18	14 -16	

El rango de temperatura general es de 18-32 ° C (ver tabla 2.5), mientras que el rango general de humedad relativa varía entre el 50% y 90% (ver tabla 2.6). Estos rangos deben ser administrados con respecto a los peces objetivo o especie de planta cultivada; las bacterias prosperan a través de este rango (ver tabla 2.4 y 2.5). Es importante elegir las parejas apropiadas de peces y especies de plantas que combinen bien con las condiciones ambientales. El objetivo general es mantener un ecosistema saludable con parámetros de calidad del agua que satisfacen los requisitos para el cultivo de peces, vegetales y bacterias simultáneamente.

**Tabla 2.4: Tolerancias generales de calidad del agua para peces (agua cálida o fría), plantas hidropónicas y bacterias nitrificantes.**

(Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, 2014)

Tipo de Organismo	Temperatura (°C)	pH	Amoniaco (mg/l)	Nitrito (mg/l)	Nitrato (mg/l)	O. Disuelto (mg/l)
Peces de agua cálida	22 – 32	6 – 8,5	< 3	< 1	< 400	4 - 6
Peces de agua fría	10 - 18	6 – 8,5	< 1	< 0,1	< 400	6 - 8
Plantas	16 – 32	5,5 – 7,5	< 30	< 0,1	-	> 3
Bacterias	14 – 34	6 – 8,5	< 3	< 1	-	4 - 8

**Tabla 2.5: Parámetros ideales del agua para la acuaponía**

(Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, 2014)

	Temperatura (°C)	pH	Amoniaco (mg/l)	Nitrito (mg/l)	Nitrato (mg/l)	O.Disuelto (mg/l)
Sistemas Acuapónicos	18 – 32	6 -7	< 1	< 1	5 – 150	> 5

**Tabla 2.6: Valores de humedad ambiental adecuados a cada cultivo hortícola en invernadero**

(Tesi, 2001)

Especie	Temperatura Optima del sustrato (°C)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Humedad Relativa (%)
Tomate	15 – 20	1000 – 2000	50 – 60
Pepino	20 – 21	1000 – 3000	70 – 90
Melón	20 - 22	-	60 – 80
Poroto	15 – 20	-	-
Pimentón	15 – 20	-	65 – 70
Berenjena	15 – 20	-	65 – 70

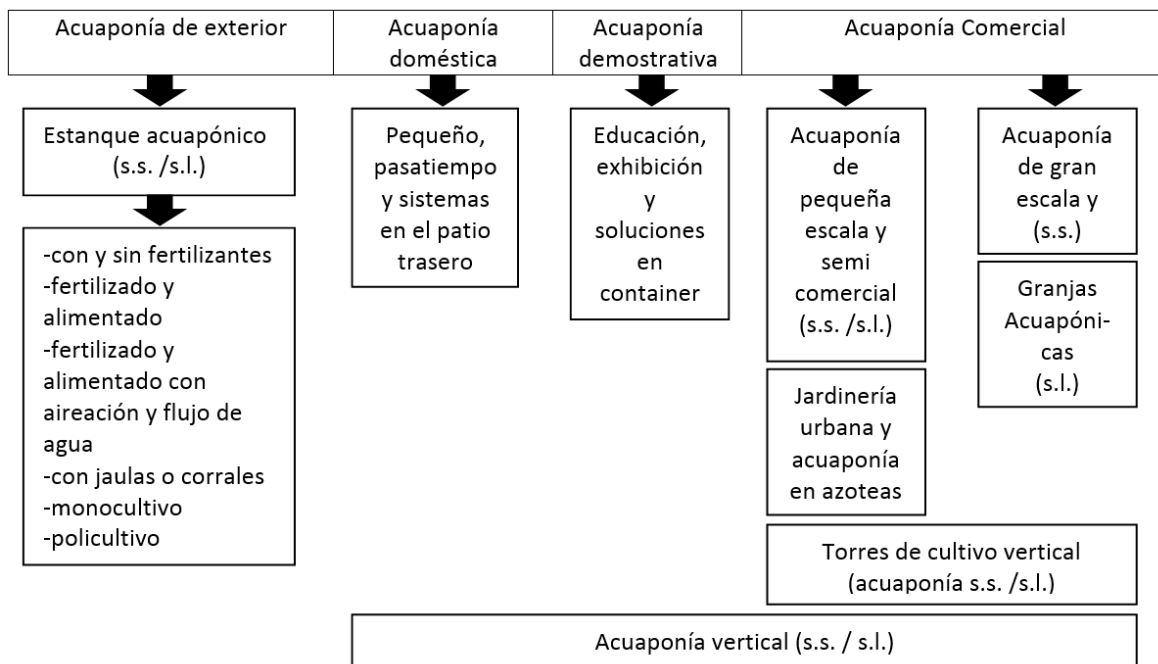
### 2.1.4 Escalas y usos

Se han desarrollado una variedad de métodos y diseños de sistemas que se centran en la producción de peces o plantas. El interés público en la acuaponía se ha incrementado dramáticamente en los últimos años, por lo que una clasificación de los distintos modelos ayuda a distinguir entre los diversos sistemas, comprender mejor sus potenciales y limitaciones. Se distinguen cuatro escalas diferentes de producción  $\leq 50 \text{ m}^2$ ,  $> 50 \leq 100 \text{ m}^2$ ,  $> 100 \leq 500 \text{ m}^2$ ,  $> 500 \text{ m}^2$ . (Palm, y otros, 2017) (Ver tabla 2.7)

**Tabla 2.7: Escalas de producción de sistemas acuapónicos**

Categoría	Doméstico	Pequeña escala / semi comercial	Escala Intermedia / Comercial de gran escala para empresas e industrias
Superficie	$\leq 50 \text{ m}^2$	$> 50 \leq 100 \text{ m}^2$	$> 100 \leq 500 \text{ m}^2$ , $> 500 \text{ m}^2$

La clasificación de los sistemas acuapónicos según el sistema y el diseño se define en cuatro categorías principales: acuaponía abierta, doméstica, de demostración y comercial. (Palm, y otros, 2017) (ver figura 2.10)



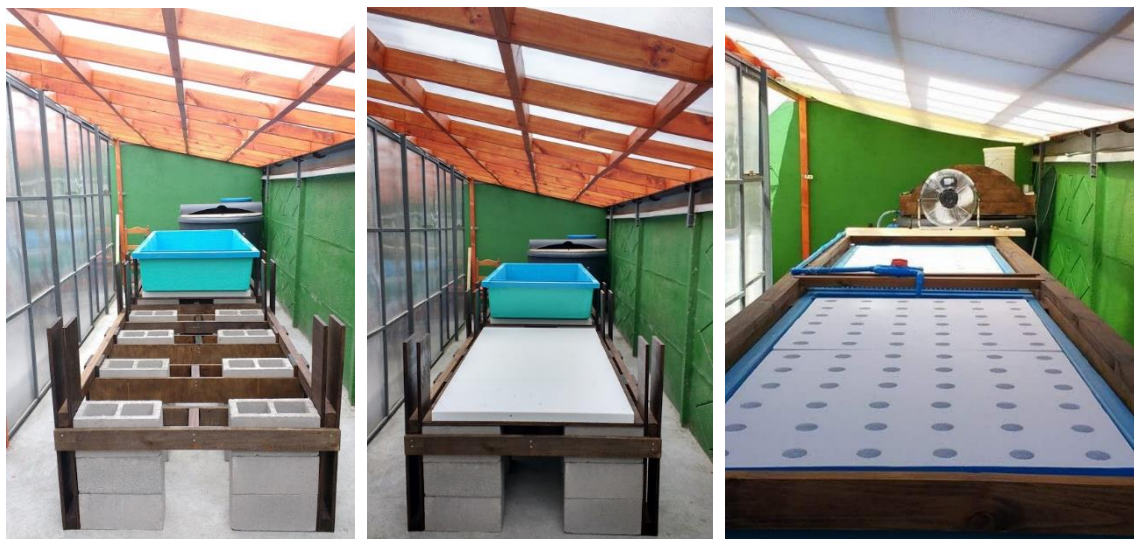
**Figura 2.10: Clasificación de los sistemas acuapónicos según diseño**



### 2.1.5 Construcción de un Sistema Acuapónico: teoría y práctica.

Se construye un sistema acuapónico a escala doméstica en una zona residencial de la ciudad de Concepción, VIII región de Chile. Dicho sistema consta de una superficie de 22,05 m<sup>2</sup>, con 9 metros de largo, 2,45 metros de ancho y 2,25 metros de alto, cuya materialidad es de una estructura mixta de acero y madera, con una envolvente de policarbonato alveolar. Cabe mencionar que el sistema se instaló en el patio trasero de la vivienda, razón por la cual el invernadero debió adosarse a 2 deslindes del terreno.

La técnica de cultivo implementada corresponde a camas flotantes, por lo que se compran 2 camas de agua de fibra de vidrio a medida (782 litros y 2 m<sup>2</sup> de superficie cada una), un estanque de agua de 1000 litros, un filtro y un biofiltro de 200 litros cada uno. Se compran además una bomba de agua sumergible de 2400 l/h y 2 bombas aireadoras de 4,5 l/min. Las camas de agua se montan sobre una estructura compuesta de bloques de hormigón, terciado estructural, y una base de poliestireno expandido para proteger la integridad de la fibra de vidrio. (Figura 2.11)



**Figura 2.11: Proceso de montaje del sistema acuapónico construido**

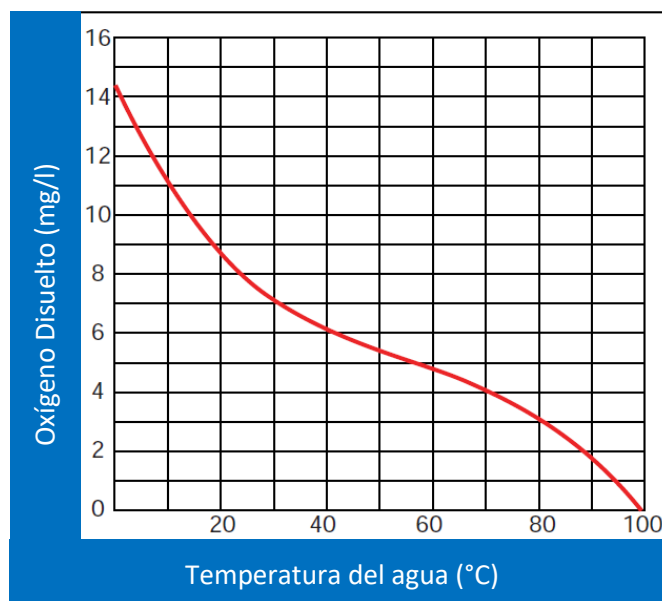
El sistema comenzó su funcionamiento en Diciembre de 2017, cultivando 90 plantas de albahaca en las camas de agua. Se viaja a la localidad Loncoche con el objetivo de comprar 5 kg (35 unidades) de trucha arcoíris juveniles para luego ser instaladas en el estanque de peces respectivo. Al cabo de un mes de funcionamiento la totalidad de las truchas mueren debido a las altas temperaturas de esta época, registrándose una máxima de 21 °C en el agua cuando la temperatura del aire correspondía a 26°C, de acuerdo a los datos recolectados de manera manual en terreno. (figura 2.12)



**Figura 2.12: Cultivo de truchas en sistema acuapónico construido**

De acuerdo al “Manual Práctico para el Cultivo de Trucha Arcoriris” (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, 2014), estipula que las truchas tienen un requerimiento de oxígeno disuelto en el agua de 7,5 a 12 ppm, siendo el valor óptimo de 8,5 ppm, y un rango de temperatura de 13°C a 18°C siendo 15°C el óptimo. Al observar al gráfico 2.1 de oxígeno disuelto en agua a diferentes temperaturas, se puede corroborar dicha información. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, 2014)

**Gráfico 2.1: Oxígeno disuelto en el agua a diferentes temperaturas**







**Figura 2.13: Evolución del cultivo de albahaca en el sistema acuapónico construido**

La producción de albahaca durante este periodo si bien alcanzó un crecimiento notorio este no fue óptimo debido al bajo volumen de truchas inicial en relación a la densidad de cultivo, sumado a la progresiva mortandad de las truchas que generó una intensificación en el déficit de nutrientes. Este déficit de nutrientes se puede visualizar en la coloración amarilla de las hojas y en la floración prematura de las plantas (ver figura 2.13).

De este modo se logró evidenciar la importancia de un ambiente controlado y la adecuada selección de las especies, a modo de garantizar una producción efectiva, ya que para la zona de Concepción las temperaturas del agua logradas excedían el límite requerido para la trucha arcoíris, influyendo directamente en la disminución del oxígeno disuelto que requiere dicha especie, el estrés y mortandad de éstas (ver gráfico 2.1).

Posterior a esta experiencia se decide continuar con el funcionamiento del sistema acuapónico; pero optando por una especie de peces más adecuadas para la zona y de mayor resistencia, como lo es la carpa común (*Cyprinus carpio*). En total se utilizan 5 carpas adultas, con un total de 9 kilos 520 grs. De igual modo se decide cambiar el cultivo de plantas por una especie más resistente como lo son las kales, con un total de 40 plantas. En esta segunda experiencia de cultivo (kales y carpa común), dio resultados exitosos tanto en producción saludable de peces y como de plantas. La acertada elección de especies de acuerdo al clima del lugar fue fundamental. (figura 2.14)



**Figura 2.14: Cultivo de plantas de kales y peces carpa común**

Con el fin de llevar un registro de datos más detallado se instalaron 3 datalogger, uno encargado de medir la temperatura y humedad relativa del exterior del invernadero, un segundo datalogger que midió la temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero y finalmente un tercer dispositivo que registró la temperatura del agua del estanque de los peces (figura 2.15). Estas mediciones fueron efectuadas con el invernadero completamente cerrado entre el los meses de marzo y abril de 2018.

Debido al corto plazo de recolección de datos mediante datalogger no se pueden obtener resultados concluyentes; sin embargo es posible observar el comportamiento e interacción de las temperaturas del exterior e interior del invernadero y la temperatura del agua en fechas específicas. Se seleccionan los datos del día 21 de marzo y 21 de abril para resumir y graficar los comportamientos de las temperaturas y humedad relativa. Cabe señalar que ambas fechas no son representativas de cada mes; sino que se busca visualizar los comportamientos con 30 días de diferencia.

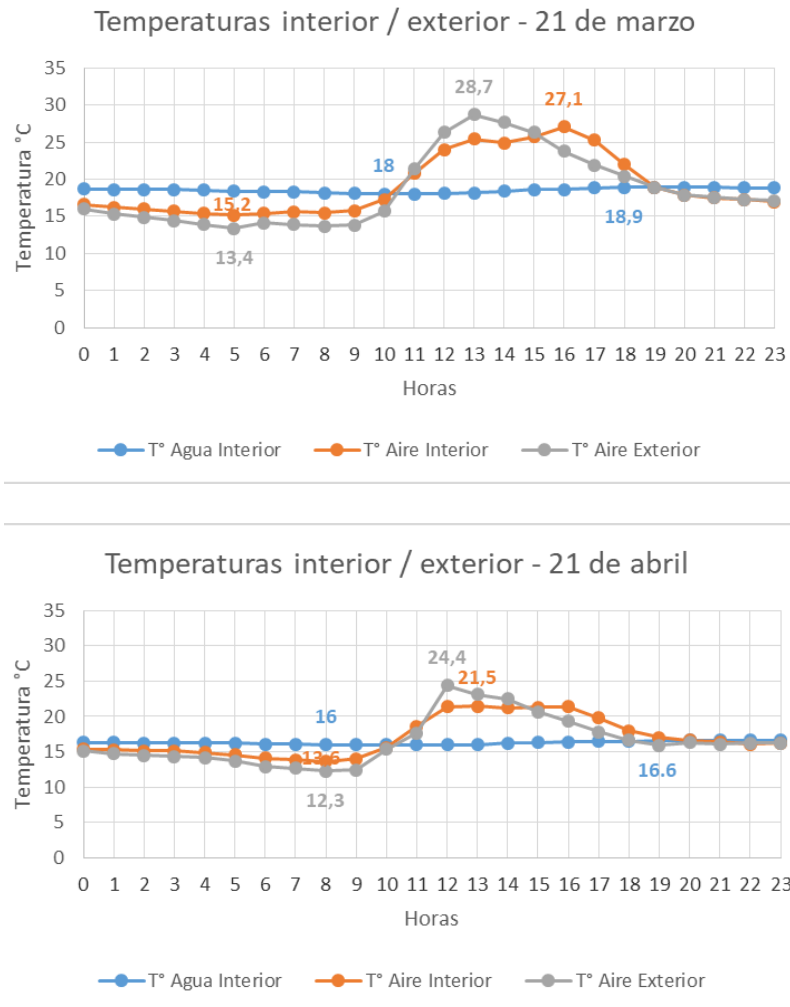


**Figura 2.15: Data Logger instalados en el sistema acuapónico construido 1) temperatura y humedad relativa interior, 2) temperatura de agua interior, 3) temperatura y humedad relativa exterior**

Aunque se observa una disminución de  $2^{\circ}\text{C}$  de la temperatura del agua entre el 21 de marzo y el 21 de abril, el comportamiento de la temperatura del agua es relativamente estable durante el lapso de las 24 horas de los días analizados. Se observa así, que el agua tiene una oscilación térmica baja (menor a  $1^{\circ}\text{C}$ ) en ambos días seleccionados, no así la oscilación térmica del aire (gráfico 2.2). Es importante señalar que esto se explica debido al importante volumen de masa térmica del agua (2700 litros, agua del estanque de los peces y camas de agua), el cual actúa como un amortiguador térmico. Las variaciones de temperatura interior y exterior durante la noche comienzan a disminuir notoriamente, mientras que la temperatura del agua se mantiene estable. Esto nos indica que durante las horas del día la masa térmica del volumen de agua se calentó y en las horas de la noche comienza a liberar dicha energía, manteniendo la temperatura del aire interior por sobre la temperatura del exterior.

De igual forma el comportamiento descrito anteriormente se puede visualizar en las temperaturas máximas del interior y exterior del invernadero. En el caso del mes de marzo, la temperatura máxima del exterior se alcanza a las 13 hrs con  $28,7^{\circ}\text{C}$ ; mientras que al interior la temperatura máxima se logra a las 16 hrs con  $27,1^{\circ}\text{C}$ . Esto significa un retraso de 4 horas en la máxima de la temperatura del aire interior respecto al exterior, influenciado por la presencia de la masa térmica del agua. (ver gráfico 2.2)

**Gráfico 2.2: Resultado mediciones de temperatura el 21 de abril y 21 de marzo**

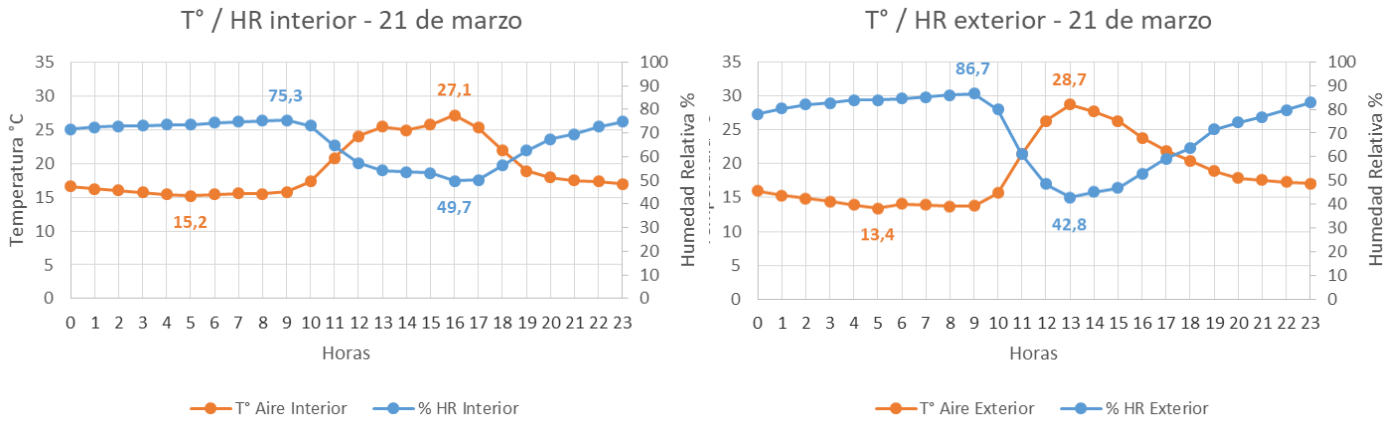


El comportamiento de las fluctuaciones de la humedad relativa tanto interior como exterior está íntimamente relacionado a las variaciones de temperatura, cuando se logran las temperaturas máximas del aire del día la humedad relativa disminuye a su valor mínimo, es decir que tiene un comportamiento inverso (gráfico 2.3 y 2.4).

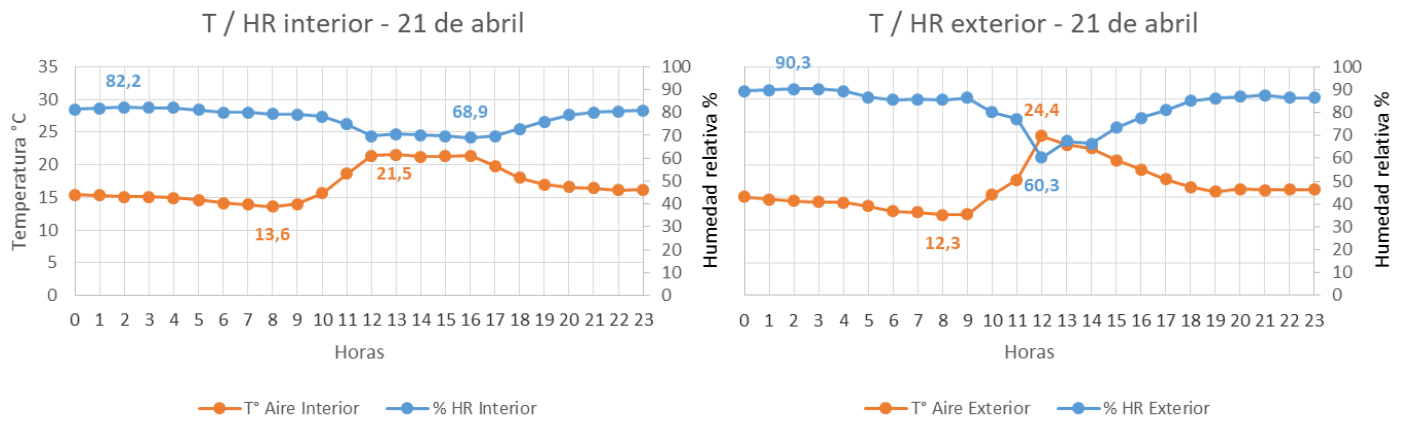
Al observar el comportamiento de la humedad relativa interior de los meses de marzo y abril, es posible corroborar que en abril la humedad es mayor y más estable en el transcurso del día (entre un 82% y 68%); mientras que en marzo la humedad relativa es menor y presentando mayores fluctuaciones entre el día y la noche (entre 75% y 49%). (ver gráfico 2.3 y 2.4)



**Gráfico 2.3: gráficos de temperatura y humedad relativa interior y exterior del 21 de marzo**



**Gráfico 2.4: gráficos de temperatura y humedad relativa interior y exterior del 21 de Abril**



Es importante señalar que dado el acotado tiempo de registro de datos no se pueden obtener resultados concluyentes, pero si ayudó a observar las interacciones tanto de temperaturas de aire y agua como de humedades relativas. Por un lado no demuestra el real comportamiento de todo año así como también el invernadero no fue el óptimo, dado el nivel constructivo, múltiples infiltraciones, bajo manejo de la ventilación y asoleamiento entre otros.

Mediante la construcción del sistema acuapónico fue posible corroborar la importancia y directa implicancia del clima del lugar para desarrollar un cultivo de peces y plantas exitoso, sin implementar sistemas activos para refrigerar o calefaccionar, ya que el clima influye directamente en las condiciones ambientales idóneas para las especies a producir. Es importante señalar que la relación entre especies y lugar afectarán directamente en el porcentaje de horas con condiciones higrotérmicas favorables para los sistemas acuapónicos.

## 2.2 Infraestructura y eficiencia energética de invernaderos

De acuerdo a los requerimientos visualizados de los sistemas acuapónicos en el punto 2.1.3, y en base a la experiencia del invernadero construido en Concepción, se evidencia la importancia y necesidad de contener estos sistemas bajo una infraestructura que proporcione las condiciones idóneas para su desarrollo y producción. Una infraestructura que garantice la estabilidad de los requerimientos ambientales en un sistema acuapónico es primordial para garantizar la producción tanto de peces como de plantas.

### 2.2.1 Invernadero: Definición y ventajas

Un invernadero es una construcción o estructura de distintas materialidades (acero, madera, entre otros), recubierto con plástico, láminas o placas traslucidas o transparentes, que permiten una mecánica en su interior, de forma que se protege del frío o se limita el exceso de calor. (Robledo, 1982)

*“Así como otros sistemas de protección de cultivos, tales como cortavientos, acolchados, túneles, etc., permiten justamente controlar los factores climáticos en el que se desarrolla el cultivo. Un desarrollo óptimo y equilibrado de los vegetales, depende de la incidencia favorable de factores tales como la temperatura, humedad y luminosidad entre otros”* (Alvarado, y otros, 2003 pág. 2)

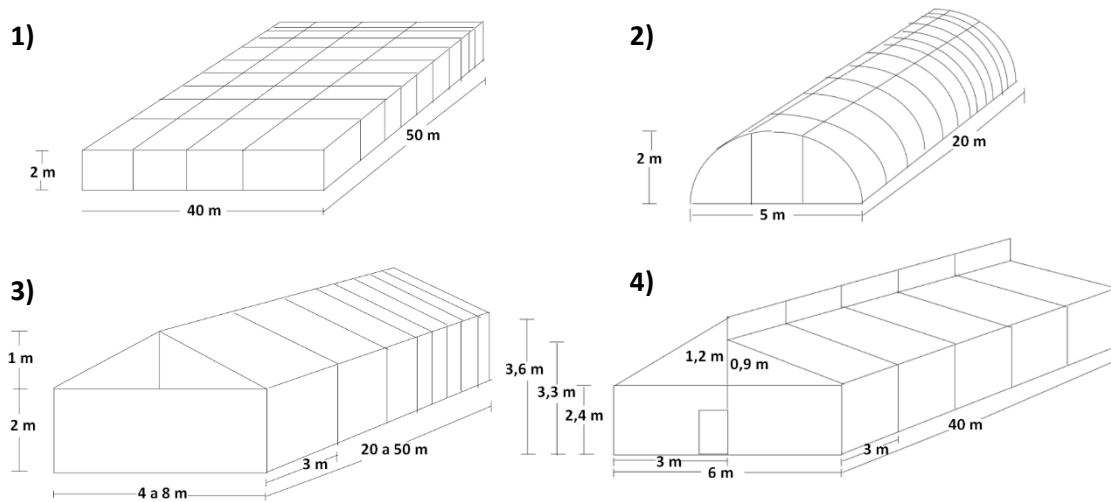
Entre algunas de las ventajas que permite cultivar con la implementación de invernaderos se encuentran:

- *Precocidad de cosechas (se acorta el ciclo vegetativo)*
- *Aumento de rendimiento*
- *Posibilidad de obtener cosechas fuera de época*
- *Frutos de mejor calidad (limpios, sanos y uniformes)*
- *Ahorro de agua*
- *Siembra de variedades selectas con rendimientos máximos*
- *Posibilidad de obtener en la misma parcela de cultivo, dos o tres cosechas al año*

(Robledo, 1981)

### 2.2.2 Invernaderos en Chile

En Chile se han adoptado distintas tipologías de invernaderos, los cuales varían en forma y materiales utilizados. De acuerdo al artículo publicado en la Revista el Agroeconómico de la Fundación Chile “Invernaderos: materiales, tipos, zonas aptas, tendencias e innovaciones” se desprenden las siguientes clasificaciones:



**Figura 2.16: Tipologías de invernaderos en Chile: 1) Invernadero tipo caseta. 2) Invernadero tipo túnel. 3) Invernadero tipo capilla a dos aguas en su variante sin lucarna. 4) Invernadero tipo capilla a dos aguas en su variante con lucarna**

El invernadero tipo caseta comienza a ser una de las primeras tipologías predominante en los años 60 en Chile. Se caracterizaba por tener una baja altura y una gran extensión. Normalmente se emplazaba en zonas de larga exposición solar. Sin embargo este tipo de invernadero presentaba problemas de ventilación en su zona central, motivo por el cual su uso ha disminuido notoriamente. (Alvarado, y otros, 2003)

El invernadero de tipo túnel se caracteriza por ser construido generalmente con tubos de acero galvanizado los cuales se disponen de manera curva conformando una bóveda. Aunque su construcción es sencilla su mayor limitación es la altura disponible para los cultivos, razón por la cual su uso también ha disminuido. (Alvarado, y otros, 2003)

El tercer y cuarto tipo de invernadero graficado es característico de la zona de Quillota, adoptando el nombre de “quillotano”. Se caracteriza por su techumbre a 2 aguas, pudiendo tener una variante con el uso de una lucarna para generar ventilación cenital. Esta tipología se ha logrado extender hacia otras regiones del país; pero con variaciones de dimensiones, sin

modificar sus componentes constructivos. El invernadero tipo quillotano permite el agrupamiento de varias unidades conformando naves de mayor superficie. Sin embargo al estar dispuestas una unidad al lado de la otra limita la ventilación lateral, siendo necesaria la abertura cenital para una ventilación correcta. (Alvarado, y otros, 2003)

Al revisar el estudio “El mercado de los invernaderos en Chile”, realizado por la Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en el año 2016 (Urquijo, 2016), se corrobora que el invernadero tipo quillotano continúa siendo la tipología predominante en Chile. El cual se caracterizó con las dimensiones de 7,2 metros de ancho y 20 metros de largo, y 4 metros de altura. La envolvente comúnmente utilizada en Chile es la de polietileno de baja densidad, aunque también se utiliza el polietileno común, el polietileno térmico, el PVC de 0,1mm de espesor, el copolímero de EVA, y el policarbonato (Urquijo, 2016). Esto evidencia que la tipología de invernaderos fríos (invernadero sin sistema activos de calefacción, refrigeración o ventilación mecánica) no ha variado mayormente en la última década.



**Figura 2.17: ejemplos de invernaderos tipo quillotano en Chile en estructura de acero (arriba) y en madera (abajo)**



### 2.2.3 Forma y orientación de un invernadero

#### Forma del Invernadero

La estabilidad térmica del invernadero está condicionada por sus dimensiones, en particular por el volumen de aire almacenado por metro cuadrado de superficie de cubierta (relación  $m^3/m^2$ ), siendo la más indicada para climas mediterráneos la relación de 2,5/1 a 3/1, lo que quiere decir que se necesita 2,5  $m^3$  de aire por cada  $m^2$  cubierto (Robledo, 1981). Esta relación es muy importante porque permite dar condiciones más estables de temperatura y de un volumen suficiente de aire que disminuya su tendencia a saturarse debido a la humedad generada por la transpiración de las plantas.

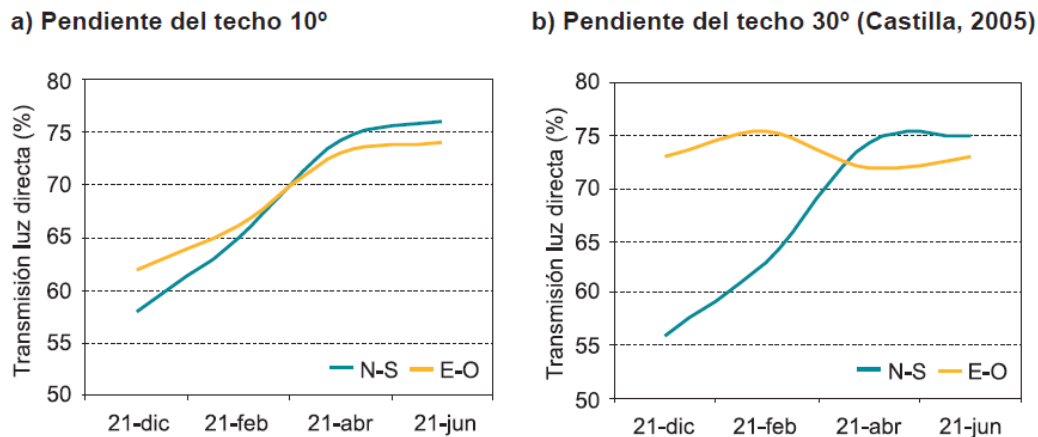
El alto del invernadero está determinado por los largos comerciales de la estructura (madera, acero, etc), así como también de los vientos predominantes y su intensidad, ya que mientras mayor sea la altura del invernadero mayor será la resistencia que ofrece al viento. Los invernaderos de mayor altura tienen una mayor masa de aire, razón por la cual se calientan más lento durante el día y demoran en enfriarse en la noche, dando mayor estabilidad al clima interno, afectando a un metabolismo de las plantas más lento, perdiendo precocidad; pero ganando calidad de los frutos y mayor rendimiento (Instituto de Educación Rural, 1996)

El largo del invernadero es variable y depende de la eficiencia en el manejo de la ventilación, humedad ambiental y de la capacidad de manejar el riego. Siempre es aconsejable tener dos o más naves que una sola larga. El Ancho del invernadero está determinado por la estructura y materiales de cubierta y además por la densidad de las plantas requeridas (Instituto de Educación Rural, 1996)

En general el objetivo de los invernaderos es el de buscar la máxima captación solar con el fin de aumentar la fotosíntesis de las plantas y elevar la temperatura del invernadero. En este aspecto el ángulo de la techumbre incide directamente en la luminosidad interior de un invernadero, donde la máxima luminosidad se logra en invernaderos circulares o tipo túnel y la menor en aquellas con techos de poca inclinación. (INIA, 1993)

A modo de ejemplo, en el gráfico 2.5 (Castilla, 2005), se evalúan invernaderos de techos con distintas pendientes, para la latitud del sur peninsular de España (37°N). En verano se suele sombrear el invernadero, por lo que la transmisión de luz en estos meses no es de interés. En las Figuras 2.5a y 2.5b se comprueba que los invernaderos de mayor pendiente transmiten más luz en los meses invernales, y por lo tanto son recomendables por sobre los techos planos o de escasa pendiente. (Castilla, 2005)

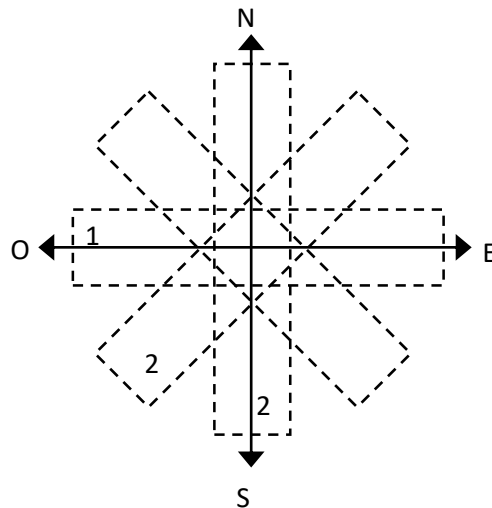
**Gráfico 2.5: Transmisión de luz directa en invernaderos con orientación Norte-Sur y Este-Oeste para la latitud 37° Norte**



### Orientación del invernadero.

La orientación del invernadero es primordial para lograr un buen “balance térmico” en su interior, y una mayor captación lumínica. La orientación está condicionada por la velocidad y dirección de los vientos, así como también de la captación de la luz solar. (Robledo, 1982)

La orientación del invernadero en dirección este-oeste del eje longitudinal es la que proporciona la máxima captación de energía. (Alpi, y otros, 1984). Sin embargo se deben considerar además los vientos predominantes, ya que no es recomendable que éstos soplen en dirección perpendicular a la estructura del invernadero. En este sentido es recomendable que la orientación sea en diagonal Noreste-Sureste (figura 2.18) (Baechler, y otros, 1990). En el caso de que por razones de viento o topografía no sea posible esta orientación, se deberá evaluar aquella opción que capte la mayor cantidad de luz en la mañana, que es cuando se necesita ganar temperatura más rápidamente.



**Figura 2.18: Recomendaciones de orientaciones de invernadero para: 1) Invernadero con mayor captación de energía solar; 2) alternativa utilizable por razones de viento o topografía**

Por lo tanto, para evaluar la orientación más conveniente se deberán analizar las condicionantes del lugar a emplazar el invernadero, tales como vientos predominantes de verano e invierno, asoleamiento y tipo de cultivo a desarrollar.

#### **2.2.4 Materiales de envoltente:**

Los materiales de envoltente de los invernaderos son un elemento fundamental, ya que condicionan diversos factores, tales como la forma, la estructura, y dimensiones del invernadero. Así como también de sus características físicas, mecánicas y ópticas dependen gran parte de las condiciones climáticas que se van a producir en el interior del invernadero. (Tesi, 2001)

*“Los materiales de envoltente son variados, en donde el más utilizado es el polietileno, dado especialmente a su bajo costo. Los materiales rígidos como el vidrio o el policarbonato, tienen mejor comportamiento térmico; pero se debe considerar que necesitan estructuras muy fuertes y sistemas de sujeción muy sofisticados”* (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2002 pág. 74).

Es así como podemos clasificar los tipos de envoltente de invernaderos en 3 grupos principales, el cristal, las planchas rígidas de plástico y los films de plástico, cada uno con diferentes variedades y características, así como también de distintas configuraciones, pudiendo mezclarse entre sí, por ejemplo, envoltentes mixtas de films de plástico y cristal.

**Cristal:** para el su uso en invernadero se pueden distinguir los de tipo transparente y de tipo translúcido<sup>1</sup>. Los cristales transparentes comprenden los cristales semidobles de 3 mm y los dobles de 4 mm de espesor. En las cubiertas de los invernaderos es más común el uso del cristal semidoble. Se pueden distinguir distintas subcategorías de vidrio transparente, como por ejemplo, el amartillado, el de jardinería y el templado (tabla 2.8), los cuales se caracterizan por poseer un mayor espesor, resistencia y ser más translúcidos que transparentes, lo que proporciona una iluminación difusa más uniforme. (Tesi, 2001)

Se ha desarrollado sistemas más tecnificados y costosos en base a **cristales de doble pared (termopanel) y cristales térmicos**, los cuales buscan un mayor rendimiento térmico.

En primer lugar, los cristales de doble pared (termopanel) se construyen con cristales simples (2 y 4 mm de espesor), los cuales son soldados o emplastecidos en sus bordes, con un distanciamiento entre sí de 9-12 mm, y sellados herméticamente para evitar su condensación. El uso de este sistema se recomienda en las paredes, debido a su peso, y en aquellos invernaderos que cuenten con calefacción debido a un ahorro energético de hasta un 50% si la pared se prolonga hasta el techo. Su costo puede variar hasta en 3 o 4 veces del cristal sencillo. (Tesi, 2001)

En segundo lugar, los cristales térmicos, son cristales sencillos (cristal monolítico) de 4mm de espesor, recubiertos por un lado con una delgada capa (450 nm) de óxidos metálicos, la cual es colocada en caliente antes de su solidificación. Dicha capa disminuye la emisión de 0,9 a 0,25-0,3, lo cual permite retener especialmente las radiaciones infrarrojas, logrando con ello un aumento en la temperatura entre 2 a 3°C a la obtenida en un invernadero de cristal sencillo (cristal monolítico). En invernaderos calientes (invernaderos con sistemas activos de calefacción) se estima un ahorro energético en combustible de al menos del 20-25%. El costo de estos cristales térmicos es aproximadamente 1,6-1,8 veces mayor al cristal sencillo. (Tesi, 2001)

---

<sup>1</sup> De acuerdo a la RAE se conocen como cristales translúcidos a aquellos que deja pasar la luz, pero que no deja ver nítidamente los objetos; en cambio los cristales transparentes a aquellos que permiten ver los objetos con nitidez a través de él.

**Tabla 2.8: Algunas características mecánicas y ópticas de los principales tipos de cristales utilizados en la cubierta de los invernaderos. (Tesi, 2001)**

Tipo	Espesor mm	Dimensiones máx. cm	Dimensiones óptimas cm	Peso kg/m <sup>2</sup>	CR* kg/cm <sup>2</sup>	T** UV %	T** Vis. %	T** IR %	T** Total
Jardinería	4,6	150 - 300	75 - 150	11,5	300	53	90	88	86,5
Jardín Hortiplus	4	150 - 300	70 - 150	10	300	50	82	40	80
Amartillado	4,6	150 - 300	75 - 150	11,5	300	53	90	88	86,5
Rayado	4,6	150 - 300	75 - 165	11,5	300	53	90	88	86,5
Estampado C	4,6	150 - 300	75 - 165	11,5	300	53	90	88	86,5
U-Glass	6	Fino 6-7 mm	-	20	300	50	88	85	83
Retinado liso	7	150 - 300	75 - 165	17,5	300	50	90	80	77
Semidoble transparente	3	54 - 60	54 - 60	7,5	300	53	92	90	88

CR\* = carga de rotura o tracción

T\*\* = transmisión porcentual de las radiaciones solares incidentes en la zona ultravioleta, visible, infrarrojo corto-medio y totales. Para infrarrojo largo la transmisión es nula.

**Láminas o planchas rígidas de plástico:** se pueden distinguir las láminas planas u onduladas, de PVC, de polimetacrilato de metilo, de poliéster estratificado y de policarbonato alveolar, los cuales pueden ser transparentes o translúcidos reforzados con fibra de vidrio, filamento de nailon o retículos metálicos. Estos materiales tienen un peso reducido (1,5 kg/m<sup>2</sup>) comparado al cristal sencillo, lo que permite generar una estructura portante con mayores distanciamientos. Su fijación generalmente se realiza mediante tornillos, en donde es importante mantener una buena hermeticidad, lo cual es difícilmente logrado en planchas onduladas. Los mejores resultados de estabilidad óptica y buena duración la logran el polimetacrilato (Vedril) y el PVC biorientado (PVC Ondex), en donde el valor de estos materiales supera por lo menos en 2-2,5 veces al cristal sencillo. (Tesi, 2001)

Se debe mencionar que en Chile las láminas rígidas de plástico más utilizadas son el policarbonato alveolar, y el policarbonato liso y ondulado, ya sea en su versión simple como aquel reforzado con fibra de vidrio.

**Films de plástico:** entre los films de plástico flexibles podemos encontrar el polietileno (PE), el cloruro de polivinilo (PVC) y el etilenvinilacetato (EVA), cuyos espesores varían entre los 0,05-0,25 mm en el PE y 0,1-0,25 mm para el PVC. El PE de baja densidad es el polímero más difundido, debido a su precio reducido y su fácil instalación. El costo de los films de plástico especiales de larga duración representa entre 2 a 3 veces más costo que aquellos PE de duración estacional. Entre los mayores inconvenientes de estos materiales destaca la pérdida de transparencia progresiva así como también la formación de condensación en el interior de la cubierta. La fijación de los films a la estructura es variada, lo importante es que se realice de manera continua, con el fin de evitar esfuerzos fuertes en los puntos de fijación debido a la baja resistencia a los desgarros y roturas de dicho material. (Tesi, 2001)

Para evaluar el mejor desempeño térmico de cada material que es posible utilizar como envolvente de un invernadero es importante conocer sus características físicas así como también su comportamiento térmico. (Ver tabla 2.9).

**Tabla 2.9: Absorbividad (a), emisividad (e), transmisividad(t) y reflectividad (d) para diferentes tipos de radiación; coeficiente de pérdidas de calor (U) y densidad (rc) de los materiales comúnmente utilizados como cubierta de invernaderos. (IDAE. 2008)**

Materiales utilizados en cubiertas simples, en dobles paredes o como pantallas térmicas		Espesor (mm)	Radiación solar (300-2.500 nm)			Radiación visible (380-760 nm)			Radiación térmica (2.500-40.000 nm)			U (W/m <sup>2</sup> C)	Pc (g/cm <sup>3</sup> )
			(α=ε)	(T)	(δ)	(α=ε)	(T)	(δ)	(α=ε)	(T)	(δ)		
Vidrio hortícola (VH)	◊◊Δ	4	0,03	0,89	0,08	0,01	0,91	0,08	0,90	0,00	0,10	6,7	2,40
Poliéster (PRV)	●ΔΔΔ	1	0,01 - 0,02	0,89 - 0,92	0,07 - 0,09	0,01	0,93	0,06	0,64 - 0,69	0,27 - 0,32	0,04		1,50
PVC rígido	●ΔΔΔ	18	0,11	0,62	0,27	0,02	0,61	0,37	0,92	0,01	0,07	3,8	1,30
Polimetacrilato de metilo (PMMA)	●ΔΔΔ	8	0,06	0,82	0,12	0,01	0,92	0,07	0,98	0,00	0,02	3,4	1,19
Polycarbonato (PC)	●ΔΔΔ	4	0,08 - 0,11	0,78	0,14 - 0,15	0,06 - 0,1	0,75 - 0,79	0,15	0,89 - 0,98	0,02 - 0,03	0,09	3,5	0,17 - 0,20
Poliétileno sin aditivos (PE)	Δ●ΔΔΔ	0,1	0,01	0,88 - 0,91	0,08 - 0,11	0,01	0,88 - 0,91	0,08 - 0,11	0,04 - 0,19	0,79 - 0,84	0,02	9,1	0,92
Poliétileno de baja densidad (PEbd)	◊●◊◊	0,18	0,03	0,88	0,09	0,01	0,89	0,10	0,13 - 0,4	0,53 - 0,80	0,07	9,4 - 16,2	0,91
Poliétileno de larga duración (PEld)	●◊◊	0,1	0,03	0,88	0,09	0,01	0,89	0,10	0,2 - 0,4	0,53 - 0,76	0,04 - 0,07	9,4 - 16,2	0,92
Poliétileno infrarrojo (PEir)	●●◊	0,1	0,03	0,89	0,08	0,01	0,89	0,10	0,77	0,20	0,03	8,6 - 13	0,92
Poliétileno térmico (PEt)	◊Δ	0,18	0,03	0,89	0,08	0,02	0,90	0,08	0,80	0,10	0,03	8,6 - 13	0,92
Copolímeros EVA	●ΔΔΔ	0,1	0,02	0,89 - 0,91	0,07 - 0,09	0,00	0,90 - 0,92	0,08 - 0,1	0,42 - 0,58	0,39 - 0,55	0,03	7,8	0,94
Coextrusiones PE-EVA-PE	◊◊ΔΔΔ◊◊◊	0,2	0,02 - 0,04	0,82 - 0,89	0,09 - 0,14	0,01	0,82 - 0,85	0,14 - 0,17	0,59	0,38	0,03	8,8 - 10,4	0,93
PVC plastificado	ΔΔ●ΔΔΔ	0,1	0,02	0,91	0,07	0,01	0,92	0,07	0,62	0,06	0,32	7,7	1,30
PVC armado	Δ●ΔΔΔ	0,15	0,06	0,73 - 0,74	0,20 - 0,21	0,03	0,73 - 0,76	0,21 - 0,25	0,53 - 0,76	0,09 - 0,32	0,15	6,5	1,30
Polipropileno (PP)	◊●	0,8	0,06	0,74	0,20	0,04	0,73	0,23	0,69 - 0,71	0,21 - 0,26	0,05 - 0,08	11,2	0,91
VH+VH	●ΔΔΔ	4+4	0,15	0,72	0,13	0,03	0,82	0,15	0,83	0,00	0,17	3,2	
VH+PE	●ΔΔΔ	3,4+0,1	0,04	0,84	0,12	0,01	0,86	0,13	0,87	0,01	0,12	4,2	
VH+EVA	●ΔΔΔ	3,4+0,1	0,04	0,84	0,12	0,02	0,86	0,12	0,87	0,01	0,12	4,0	
PE+PE	●ΔΔΔ	0,1+0,1	0,03	0,83	0,14	0,00	0,84	0,16	0,28	0,66	0,06	6,8	
PE+EVA	●◊◊	0,1+0,1	0,03	0,87	0,10	0,00	0,88	0,12	0,59 - 0,70	0,27 - 0,38	0,03	9,4 - 10,2	
Pantalla aluminizada en las dos caras	◊	0,04							0,50	0,10	0,40	7,6	
Cara aluminizada hacia el suelo	◊	0,03							0,45	0,23	0,32	7,9	
Cara aluminizada hacia el cielo	◊	0,03							0,50	0,23	0,27	8,1	
Fuentes:	◊ Feuilley et al., 1989 ◊◊ Feuilley et al., 1994 a. ◊◊◊ Feuilley y Issanchou, 1996 Δ Nijskens et al., 1989 ΔΔ Nijskens et al., 1984 a. ΔΔΔ Nijskens et al., 1984 b. ● Nisen y Coutisse, 1981 ●● Nisen et al., 1984												



### **Balance Energético en un invernadero**

Una forma de estimar las necesidades de calefacción y refrigeración de un invernadero es mediante la ecuación del balance energético, la cual permite conocer los parámetros de consumo, potencia de calefacción o refrigeración y el comportamiento del invernadero ante situaciones meteorológicas específicas.

Es importante determinar las características climáticas en las cuales el invernadero se desarrollará, como lo son la intensidad máxima de radiación, temperatura, humedad, dirección y velocidad media del viento. Cabe destacar que el parámetro más importante para el cálculo del balance energético es la temperatura exterior, ya que determinará de forma directa las necesidades de refrigeración y calefacción (IDAE, 2008) (ver figura 2.19)

Por otro lado existe la necesidad de establecer las condiciones adecuadas para los cultivos que se desean producir al interior del invernadero (tabla 2.2 y 2.3). Dichas condiciones establecerán las consignas de funcionamiento para los sistemas de climatización además del cálculo de potencia para estos, mediante el balance de energía. Debido a que las consignas de funcionamiento varían durante el transcurso del día, se deben contemplar las situaciones más desfavorables. El diseño de los sistemas de calefacción se realizará acorde a las necesidades de calor para las noches invernales, mientras que los sistemas de refrigeración para los periodos diurnos de épocas estivales. Además de tener un control adecuado de la temperatura, es de igual importancia mantener un buen régimen higrotérmico con el fin de evitar estrés hídrico en los cultivos, condensación de agua sobre estos o en la cubierta. (IDAE, 2008)

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, las necesidades energéticas estarán directamente ligadas al salto térmico, el cual se define como la diferencia entre la temperatura interior y exterior (IDAE, 2008). Entre más corto sea el salto de temperatura entre el interior y exterior, el requerimiento energético será más bajo, por el contrario, si el salto de temperaturas es amplio, el requerimiento será superior ya que habría que aumentar la cantidad de energía para lograr las temperaturas idóneas para los cultivos.

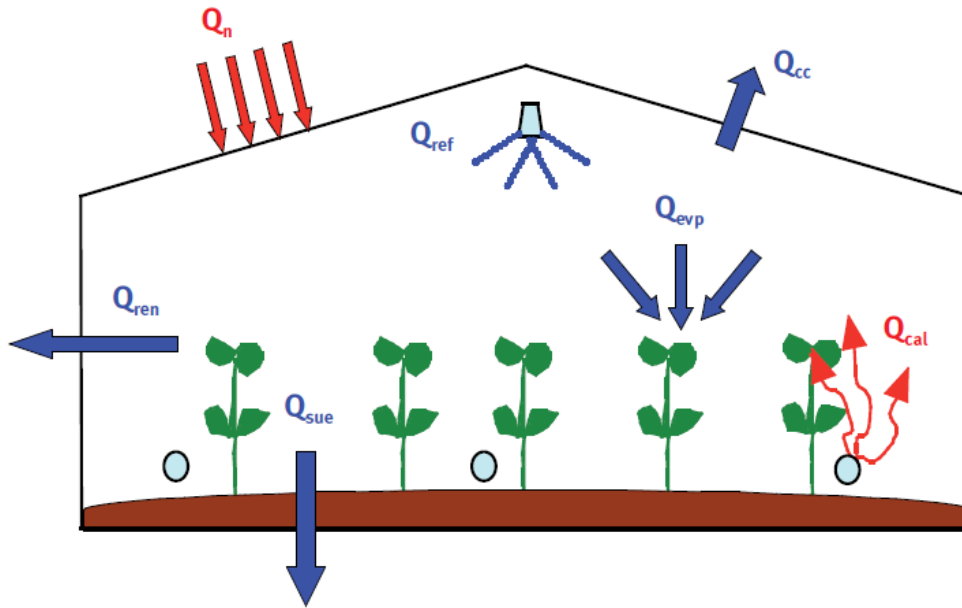


Figura 2.19: Esquema del balance energético de un invernadero (IDAE, 2008)

$$R_n + Q_{cli} = Q_{cc} + Q_{ren} + Q_{evp} + Q_{sue} \text{ (W)}$$

Donde:

$R_n$ : Radiación Neta

$Q_{cli}$ : Energía calorífica que es necesario aportar ( $Q_{cal}$ ) o eliminar ( $Q_{ref}$ ) del invernadero.

$Q_{cc}$ : Calor perdido por conducción-convección

$Q_{ren}$ : Calor sensible y latente perdido por la renovación del aire interior

$Q_{evp}$ : Calor latente consumido en la evapotranspiración de las plantas y el suelo

$Q_{sue}$ : Flujo de calor perdido por conducción a través del suelo

### 2.2.5 Técnicas pasivas de ahorro energético en invernaderos

Dentro de las técnicas de carácter pasivo que se pueden aplicar a los invernaderos existe una gama muy variada, la cual nos ayuda a mejorar su desempeño energético. Entre las principales técnicas se pueden destacar las siguientes:

#### **Pantallas térmicas**

Son mecanismos móviles que se instalan entre los cultivos y techos de los invernaderos, cuyo principal objetivo es evitar las pérdidas de calor en las noches; pero de igual modo son utilizadas para reducir la radiación solar incidente en los periodos estivales (figura 2.20). Se caracterizan por disminuir significativamente las pérdidas de calor, así como también la disminución del volumen de aire necesario a calefaccionar. Otro beneficio, es la reducción de la transferencia de energía por convección a través de la cubierta del invernadero. (IDAE, 2008)



**Figura 2.20: Invernadero con pantallas térmicas**

Con la implementación de estos sistemas, se puede llegar a un rendimiento del 40% siendo los mejores resultados en horarios nocturnos siempre y cuando estas sean aluminizadas (despliegue de las pantallas al final del día y recogida en la mañana). Esto genera como consecuencia un ahorro en el combustible destinado a los sistemas de calefacción los cuales pueden ir de un 20 a un 27% dependiendo de las características de la pantalla. (Pirard , y otros, 1994)

Los materiales más comunes para las pantallas son el poliéster y polietileno, cabe señalar que las más eficientes son aquellas que tienen una o más caras aluminizadas las cuales permiten obtener una mayor temperatura en los cultivos. (Baille, y otros, 1985)

**Tabla 2.10: Propiedades de diferentes tipos de pantallas térmicas**

Materiales	Transmisión – Reflexión de luz solar* (%)	Transmisión – Reflexión de radiación infrarroja (%)	Difusión Solar (%)	Ahorro de energía (%)
Poliétileno de baja densidad	84-14	42-5	80	32,5
Poliéster tejido	39-58	5-2	29	42,0
Poliéster aluminizado al 50%	37-58	18-18	32	-
Poliéster aluminizado al 75%	19-68	9-27	16	-
Poliéster aluminizado al 100%	0-82	0-36	0	46,5

\*Angulo de incidencia de la luz solar de 45°

**Invernaderos con paredes dobles**

La implementación de paredes dobles en los invernaderos es un método efectivo contra las temperaturas bajas en épocas de invierno (figura 2.21). En relación a los de pared simple, los resultados obtenidos son ampliamente superiores. (Papadopoulos , y otros, 1997)

Tal como su nombre lo dice, los invernaderos con paredes dobles incorporan una segunda capa de polietileno, el cual puede ser de 50 ó 100 µm de espesor. Con este método se pueden obtener reducciones de hasta un 40-50% en la pérdida de calor (Bianchi, 1989) y hasta un 57% respecto al consumo de calefacción (Bauerle , y otros, 1977). De acuerdo a los comportamientos descritos anteriormente, y como consecuencia, la temperatura interior del invernadero puede aumentar hasta 8°C (Rosocha, 1993)

Cabe destacar, que el principal problema de este método, es inamovilidad de la segunda capa de polietileno lo que repercute directamente en la necesidad de luz al interior del invernadero llegando a reducirla entre un 10-15%. (Ferare , y otros, 1984)



**Figura 2.21: Instalación de un doble techo en un semillero comercial**

**Aumento de hermeticidad del invernadero**

Es importante señalar que los mayores ahorros de energía están ligados principalmente a la disminución de infiltraciones presentes en las envolventes de los invernaderos. Tomando como ejemplo un invernadero viejo y que no tenga correctamente instalada su envolvente, se podría llegar a obtener un 40% de ahorro de combustible sólo eliminando las infiltraciones en las que se produce una fuga de aire. Por el contrario, en un invernadero relativamente nuevo, y que este correctamente construido, solo se podría obtener un ahorro del 5%. (Valera, 2006)

Para los periodos invernales es necesario mantener controladas las infiltraciones presentes en la envolvente, el cierre de algunas de las ventanas, el recubrimiento exterior con plástico y la selección adecuada del tipo de ventana. Cualquier abertura no controlada en la envolvente provocará un aumento en las renovaciones de aire por hora, lo que repercutirá directamente en el consumo de combustible para sistemas activos de calefacción. Debido a esto, es de suma importancia que la implementación de las pantallas térmicas y las envolventes de doble capa, tengan un alto nivel de hermeticidad a fin de evitar las renovaciones de aire (IDAE, 2008)

A modo de complemento, para zonas frías, la aislación de los cimientos es una buena opción. Esto permitiría un incremento de hasta 5°C al interior del invernadero en periodos invernales. Las soluciones deberán ser contempladas como capas de 5 cm de poliuretano o poliestireno expandido ubicadas de 30 a 40 cm bajo tierra. (IDAE, 2008)



**Figura 2.22: Láminas de sellado de las pantallas térmicas en su unión con los laterales del invernadero**

**Tabla 2.11: Tasas de renovaciones de aire por infiltración a través de la estructura (IDAE, 2008)**

Tipo de cubierta	R (h <sup>-1</sup> )
<b>Nueva construcción</b>	
Láminas de plástico	0,75 – 1,0
Vidrio o fibra de vidrio	0,5 – 1,0
<b>Construcciones antiguas</b>	
Vidrio o fibra de vidrio	1,0 – 2,0
Láminas de plástico	2,0 – 4,0

### Compartimentación del invernadero

La compartimentación interior de los invernaderos puede llegar a ser una estrategia muy eficaz al momento de tener cultivos con diferentes requerimientos térmicos. La reducción considerable de los requerimientos de calefacción y refrigeración se puede lograr mediante la disposición de láminas verticales de polietileno. Este mecanismo es ideal para naves de gran longitud que estén emplazadas con desniveles considerables, a modo de evitar el desplazamiento del aire caliente a zonas interiores elevadas. (IDAE, 2008)



**Figura 2.23: Particiones interiores con láminas de polietileno dentro de un invernadero**

### Cortavientos

Tal como se explicó anteriormente en la importancia de la orientación del invernadero, los vientos predominantes juegan un rol fundamental en las pérdidas de energía. Para los periodos invernales, se recomienda la instalación de cortavientos exteriores que bloqueen los vientos predominantes (ráfagas de 25 km/h pueden duplicar las pérdidas de calor) (figura 2.24). Sin embargo para periodos estivales, la presencia de cortavientos dificultaría el proceso de ventilación natural. Ante esta situación se aconseja la implementación de cortavientos móviles. (IDAE, 2008)



**Figura 2.24: cortaviento móvil activado para proteger de vientos predominantes en periodos invernales**

### **Sistemas de ventilación natural**

La ventilación tiene una gran incidencia en el comportamiento del microclima creado al interior de los invernaderos. Este proceso debe ser controlado a fin de mantener las condiciones adecuadas para el crecimiento y producción en su interior.

La ventilación natural posee grandes ventajas en comparación a los métodos mecanizados, ya que se requiere menor cantidad de energía, equipos y mantenimiento. Esto hace que sea utilizada ampliamente en la mayoría de los invernaderos. Es importante señalar que la implementación de sistemas de ventilación es crucial tanto para invernaderos localizados en climas cálidos o fríos. (IDAE, 2008)

*A continuación se indican una serie de recomendaciones para optimizar la ventilación natural:*

- *Los invernaderos equipados con ventanas cenitales (Kittas, y otros, 1996) o ventanas cenitales y laterales son más eficaces desde el punto de vista de la ventilación natural que los invernaderos con ventanas laterales únicamente (Papadakis, y otros, 1996)*
- *Disponer como mínimo de una superficie de ventilación del 20 al 30% de la superficie de suelo cubierta por el invernadero. Además, es conveniente que la superficie de las aberturas cenitales suponga al menos 1/3 de la superficie total de ventilación, de forma que se facilite la ventilación por efecto «chimenea» cuando la velocidad del viento es pequeña.*
- *Es conveniente orientar el invernadero de forma que las ventanas se sitúen perpendicularmente a los vientos dominantes en el periodo estival en el que las necesidades de refrigeración son mayores.*
- *Evitar la presencia de edificios o árboles que obstaculicen el flujo natural de aire por las ventanas.*
- *Las ventanas laterales de barlovento no deben tener bordes afilados que puedan deflectar excesivamente el flujo de aire sobre la estructura del invernadero.*
- *Las ventanas laterales de barlovento producen una mejor ventilación cuando se sitúan cerca del suelo y tienen mayor tamaño que las ventanas cenitales.*

- *Es importante disponer de ventanas cenitales que abran tanto a barlovento como a sotavento para asegurar una máxima ventilación en diferentes condiciones climáticas.*
- *Las ventanas deben cerrar herméticamente para asegurar que no se produce infiltración de aire en los periodos fríos.*
- *No utilizar sistemas de ventilación forzada cuando sea posible una circulación natural del aire exterior.*
- *Aunque es imprescindible la utilización de mallas anti-insecto desde el punto de vista fitosanitario, deben tener una porosidad superior al 40% para no disminuir en exceso la ventilación natural.*
- *Es aconsejable un control automatizado de las ventanas en función de las condiciones ambientales dentro del invernadero. Además el sistema debe permitir un cierre automático de las ventanas ante la posibilidad de lluvia o fuertes vientos.*

(IDAE, 2008 pág. 34)



### **Capítulo 3. Estudio de parámetros de diseño pasivo**

En este capítulo se llevará a cabo la parametrización de factores de diseño pasivo aplicables a invernaderos acuapónicos mediante el uso del programa computacional Design Builder.

En la primera etapa se detallarán los límites y alcances investigativos alcanzados en este estudio, determinados por el programa computacional implementado y las experiencias con el módulo acuapónico construido en la ciudad de Concepción.

La segunda etapa consiste en la presentación del caso de estudio en donde se describirá detalladamente la tipología de invernadero a parametrizar así como también la justificación y análisis de la localidad en donde se emplazará.

La tercera etapa corresponde a la parametrización de diseño pasivo del invernadero, específicamente del factor de forma, orientación y porcentaje de abertura, los cuales serán simulados y evaluados de forma secuencial. Es importante señalar que los resultados serán evaluados de acuerdo al porcentaje de horas en condiciones higrotérmicas favorables para los sistemas acuapónicos

Finalmente, en la cuarta etapa, se evaluará el caso parametrizado en la etapa 3 con una envolvente de mejor desempeño térmico, a modo de establecer la incidencia de la materialidad de la envolvente en el porcentaje de aberturas y en el porcentaje de horas en condiciones higrotérmicas favorables.

### 3.1 Alcances y límites de investigación

Para realizar el estudio cabal de un sistema acuapónico es necesario realizar una investigación compuesta de 2 etapas secuenciadas. La primera consta de la parametrización de los factores de diseño pasivo para un invernadero acuapónico, a través del programa de simulación energética Design Builder, con el objetivo de establecer el porcentaje de horas en que el interior del invernadero se encuentra en condiciones higrotérmicas favorables para los requerimientos del sistema acuapónico.

La segunda etapa contemplaría la interacción y comportamiento del volumen de agua del sistema acuapónico con las condiciones higrotérmicas del interior del invernadero ya parametrizado, la cual se podría realizar mediante simulaciones computacionales de fluidos dinámicos (CFD), específicamente con el programa sc.Stream de Cradle y el protocolo de validación ASHRAE 1133-RP.

Debido a la magnitud de la investigación descrita anteriormente, en la presente investigación se desarrollará la primera etapa, correspondiente a la parametrización del diseño pasivo de invernaderos.

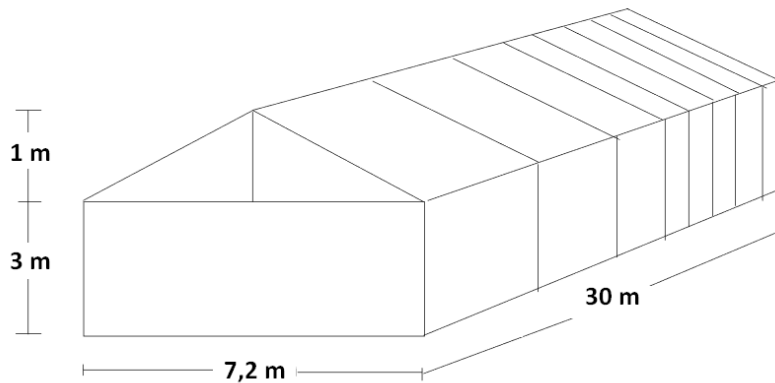
Tal como se mencionó anteriormente, el programa computacional Design Builder se utilizará para realizar las simulaciones contempladas en la siguiente investigación. Cabe destacar que dicho programa, es un software diseñado para la simulación ambiental y energética de edificios, que funciona en base a parámetros de confort humano. Sin embargo, en la presente investigación se evaluará un invernadero acuapónico, razón por la cual se deben utilizar parámetros enfocados a ofrecer las condiciones ambientales apropiadas para desarrollar los cultivos acuapónicos, y no al confort humano. Es decir, para realizar las simulaciones del invernadero acuapónico en Design Builder se deben modificar los datos enfocados al confort humano, y reemplazarlos por los parámetros apropiados de los cultivos acuapónicos, con el fin de analizar posteriormente el porcentaje de horas en condiciones higrotérmicas favorables (CHF).

### 3.2 Presentación del caso de estudio

De acuerdo al título de “Invernaderos en Chile” del Capítulo 2, se selecciona como caso de estudio al invernadero de tipo “quillotano”, ya que es la tipología más representativa y predominante a nivel nacional debido a su adecuado funcionamiento.

De esta forma se selecciona el invernadero “quillotano” con una superficie de 216 m<sup>2</sup> (7,2 metros de ancho, 30 metros de largo y 4 metros de altura) y una envolvente de polietileno de baja densidad (figura 3.1). Se realizará la parametrización manteniendo la superficie de 216 m<sup>2</sup>, para luego comparar el caso con el mejor resultado de la parametrización y la tipología de invernadero ya descrita anteriormente (ver figura 3.1), a modo de establecer la tipología de invernadero más eficiente para la ciudad de Concepción.

Se trata de un invernadero frío<sup>2</sup> el cual es manejado por 2 operarios en el horario diurno. Se estipula un horario diurno entre las 8:00 y 18:00 hrs, y un horario nocturno comprendido entre las 19:00 y 7:00 hrs, esto con el fin de establecer el horario de trabajo de los operarios; así como también poder evaluar los porcentajes de abertura.



**Figura 3.1: Caso de estudio de invernadero quillotano**

---

<sup>2</sup> Invernadero frío se entiende como aquel que no posee sistemas activos de calefacción, refrigeración y ventilación mecánica.

Tal como se mencionó en la introducción del presente capítulo, el caso de estudio será evaluado en la ciudad de Concepción, ciudad que se caracteriza por tener un clima de carácter templado marítimo con influencias mediterráneas. En los meses de verano, su temperatura alcanza una máxima de 25°C y una mínima de 15°C, mientras que en invierno su máxima llega a los 18°C y la mínima a los 8°C. Respecto a la humedad relativa, esta presenta un 45% en verano; mientras que en invierno puede llegar al 90%. Acorde a la latitud en la que se encuentra la ciudad, las oscilaciones térmicas son de carácter moderado, esto se debe en gran parte a su cercanía con el mar. De acuerdo a la información analizada con la herramienta Weather Tool de Ecotect, es posible caracterizar el comportamiento de los vientos predominantes (figura 3.2). El viento en verano tiene mayor presencia desde el SO, con una velocidad hasta 40 km/h y cuya temperatura comprende entre los 20°C y 25°C. En invierno, en tanto, con predominancia de viento desde el norte, alcanzando una velocidad de 50 km/h con una temperatura promedio de 5°C a 10°C.

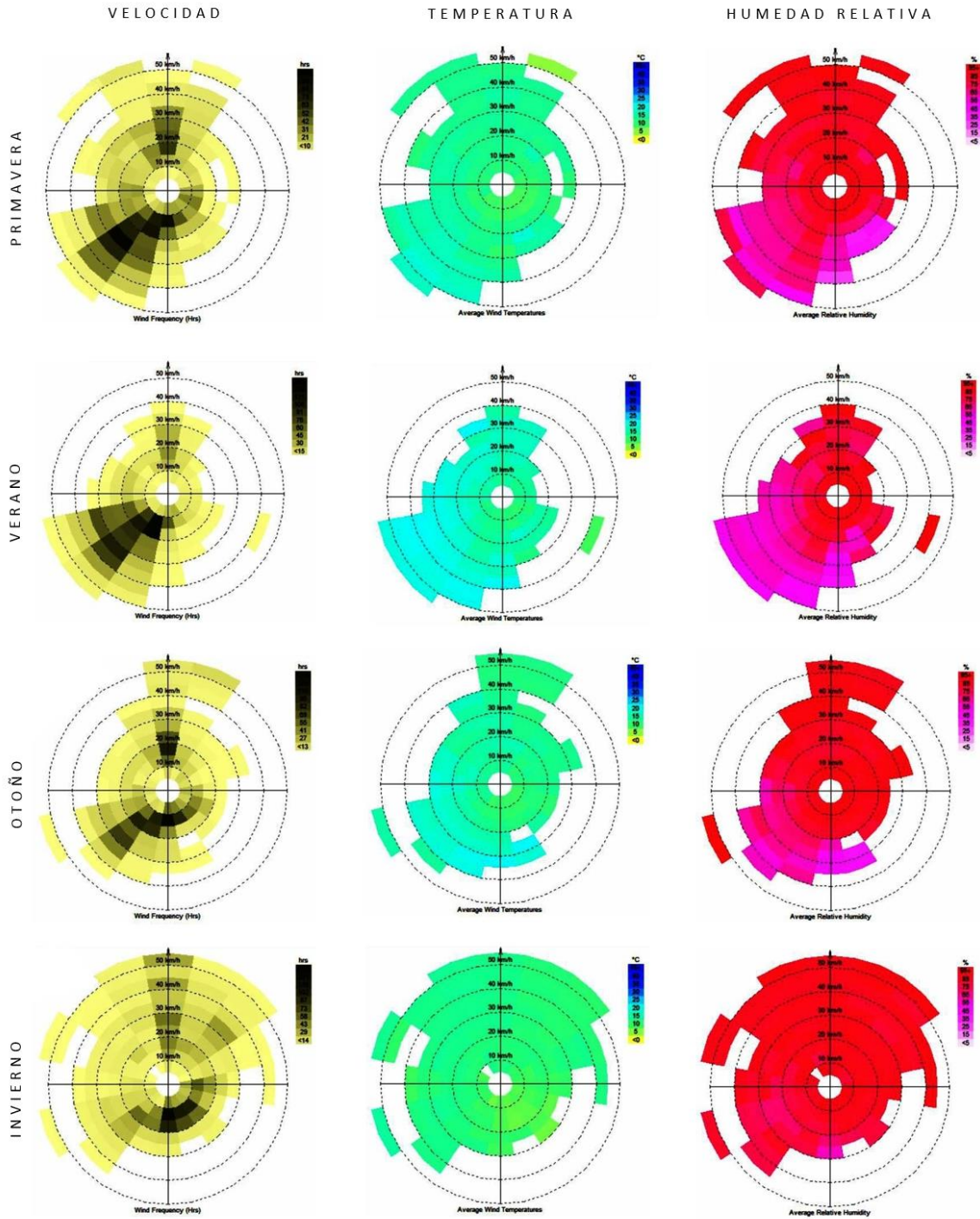


Figura 3.2: Caracterización de los vientos predominantes según estación en la ciudad de Concepción

### 3.3 Caso Base Parametrización: factor de forma, orientación y porcentaje de aberturas

Para entender cabalmente el proceso de parametrización efectuada al invernadero quillotano, se establecieron tres factores a analizar en el siguiente orden: factor de forma, orientación y porcentaje de abertura. En la figura 3.3 se puede apreciar el esquema con la secuencia de parametrización de los factores mencionados anteriormente.

Es importante hacer el alcance que todos los resultados de análisis de desempeño serán efectuados en torno a las condiciones higrotérmicas favorables (CHF) para un sistema acuapónico. Se contemplará una hora efectiva de CHF como aquella que cumpla con los rangos de temperatura y humedad relativa detalladas en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1: rangos admisibles para los cultivos acuapónicos universales**

	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	18	32
Humedad relativa (%)	50	90

Los valores de temperatura de la tabla 3.1 han sido establecidos de acuerdo a los rangos admisibles para los cultivos acuapónicos señalados por la FAO en el documento Small Scale Aquaponic Food Production, 2014. Mientras que los valores de humedad relativa han sido establecidos de acuerdo a los rangos admisibles para las plantas señalado en el mismo documento.

Según lo mencionado en el punto 3.2 la parametrización de la forma se llevará a cabo de acuerdo a las características del invernadero quillotano (superficie de 216 m<sup>2</sup>). Se establecen 13 casos a analizar con distintas relaciones de ancho y largo, manteniendo la superficie anteriormente descrita. Cada caso será combinado con 4 alturas distintas (2,5; 3; 3,5 y 4 metros de altura), arrojando una totalidad de 4 grupos de factores de forma (0,4; 0,33; 0,28; 0,25) con 13 casos cada uno. Estos serán evaluados según su porcentaje de condiciones higrotérmicas favorables (CHF). Cabe destacar que en esta etapa la ventilación natural, el horario de uso, operación de ventanas y porcentaje de abertura de estas, no fueron contemplados en las simulaciones. De los resultados obtenidos se selecciona aquel caso con mejor porcentaje de CHF, al cual llamaremos mejor caso de factor de forma o MCFF, y se comparará con el caso del invernadero quillotano descrito en el punto 3.2.

Posteriormente se comienza con la parametrización de la orientación del mejor caso seleccionado del factor de forma (MCFF) y del caso quillotano. Se evaluarán 4 orientaciones con diferencias de 45° cada una (0°=180°, 45°=225°, 90°=270°, 135°=315°). Cabe destacar que las simulaciones serán realizadas con ventilación natural, horario de lunes a domingo de 8:00 a 18:00 hrs.

Es importante señalar que para obtener el mejor caso de orientación acorde a la localidad de Concepción es necesario incorporar los porcentajes de abertura, esta será analizada con intervalos de 10% y en periodos anuales.

Se evaluarán 10 casos de abertura para cada caso de orientación (40 casos en total para cada el invernadero quillotano y 40 para el invernadero MCFF). Una vez realizadas las simulaciones se comparará aquel caso con mejor orientación (MCO) y el caso quillotano con mejor orientación. Nuevamente serán evaluados de acuerdo a su porcentaje de condiciones higrotérmicas favorables (CHF), seleccionando aquel caso con mejor desempeño. (ver figura 3.3)

Finalmente habiendo parametrizado el caso con mejor de factor de forma y orientación se procederá a evaluar el porcentaje de abertura de acuerdo a un horario diurno (8:00-18:00) y uno nocturno (19:00-7:00), para cada mes del año. A su vez se establecerán 11 porcentajes de abertura a evaluar en cada mes (0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90 %y 100%). Posteriormente se seleccionará el mejor caso de abertura con mejor porcentaje de condiciones higrotérmicas favorables (CHF) para los horarios de cada mes.

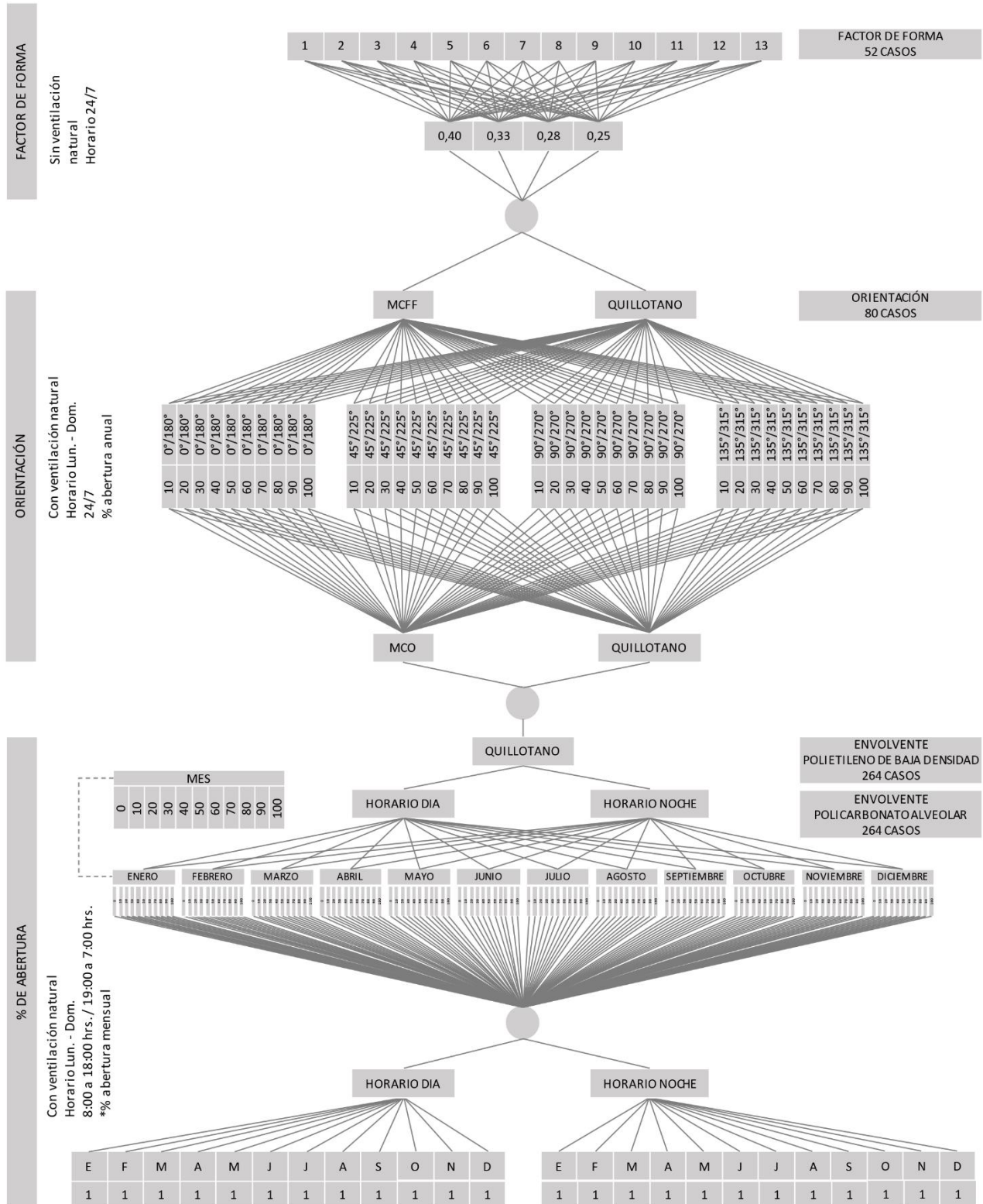


Figura 3.3: árbol de parametrización (660 casos)



### 3.3.1 Factor de forma

Tal como se mencionó anteriormente en la parametrización del factor de forma se evaluaron los 52 casos, correspondientes a la combinación de los 13 casos de relación de superficie (ver figura 3.4) con 4 tipos de factor de forma (ver tabla 3.2). De acuerdo a los resultados obtenidos se determina el caso con mejor factor de forma (MCFF) el cual será comparado con el invernadero quillotano descrito en el punto 3.2. (ver figura 3.5)

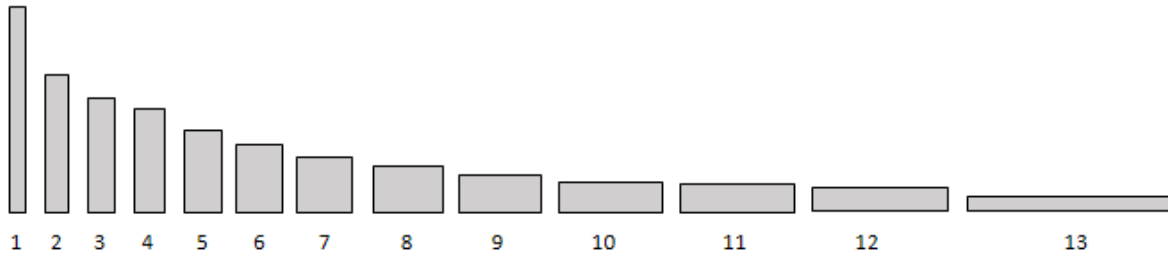
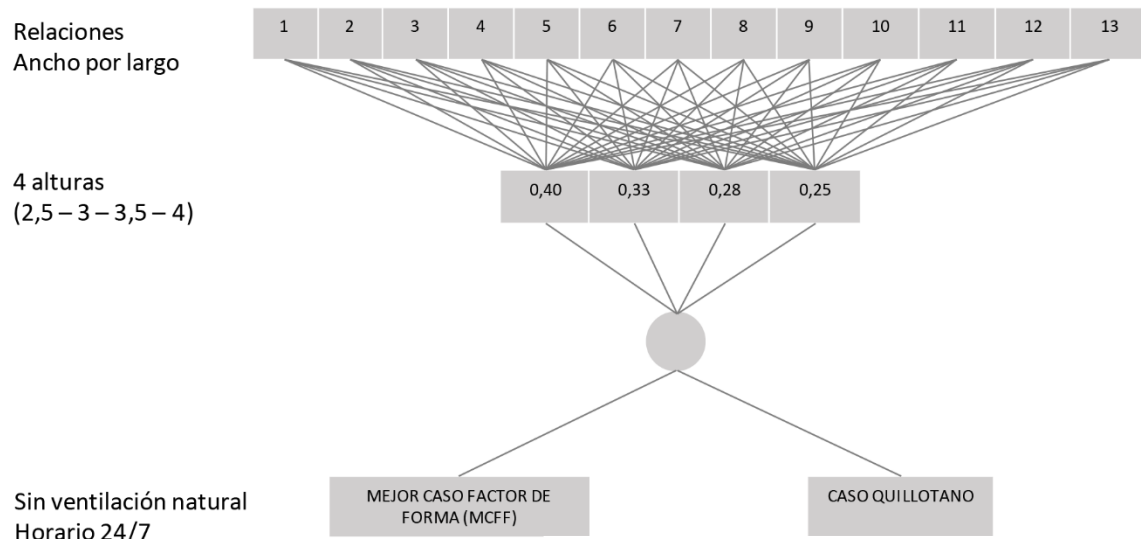


Figura 3.4: Gráficas de los 13 casos de relaciones de superficies analizadas en el factor de forma

Tabla 3.2: Tabla de los 13 casos de relación de superficie analizados de acuerdo al factor de forma

Caso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Largo (m)	54	36	30	27	21,6	18	14,6	12	10	8	7,2	6	4
Ancho (m)	4	6	7,2	8	10	12	14,6	18	21,6	27	30	36	54
Superficie (m <sup>2</sup> )	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
Fact. Forma (Altura 2,5 m)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Fact. Forma (Altura 3,0 m)	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Fact. Forma (Altura 3,5 m)	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Fact. Forma (Altura 4,0 m)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25



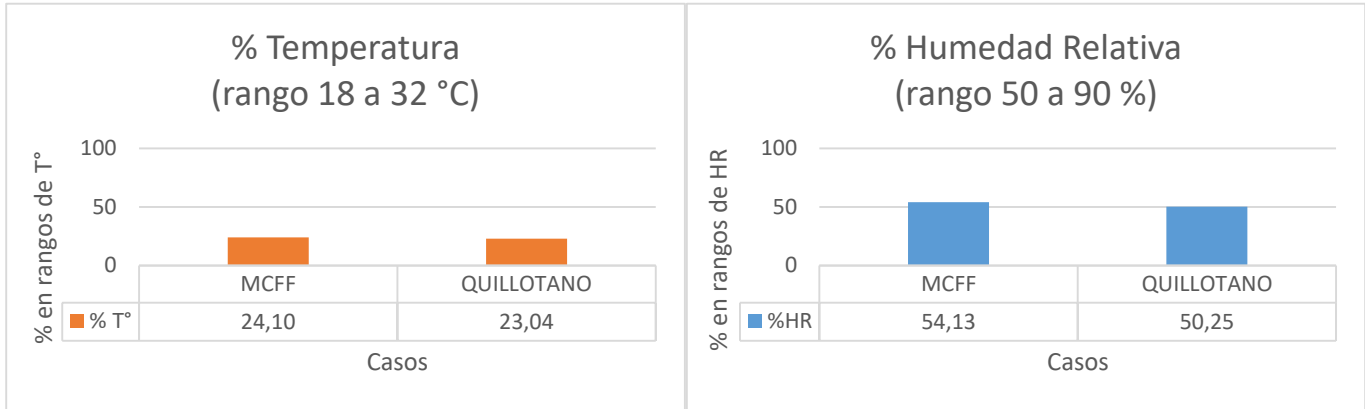
**Figura 3.5: árbol paramétrico de factor de forma**

Al observar los resultados se puede apreciar que el mejor caso de factor de forma (MCFF) corresponde al invernadero de 12 metros de largo, 18 metros de ancho y 2,5 metros de alto (factor de forma 0,4), arrojando un 9,08% de condiciones higrotérmicas favorables en el periodo de un año. Mientras que el invernadero quillotano de 7,2 metros de largo, 30 metros de ancho y 4 metros de alto (factor de forma 0,25), obtiene un 8,61% de condiciones higrotérmicas favorables. (ver gráfico 3.2 y 3.3)

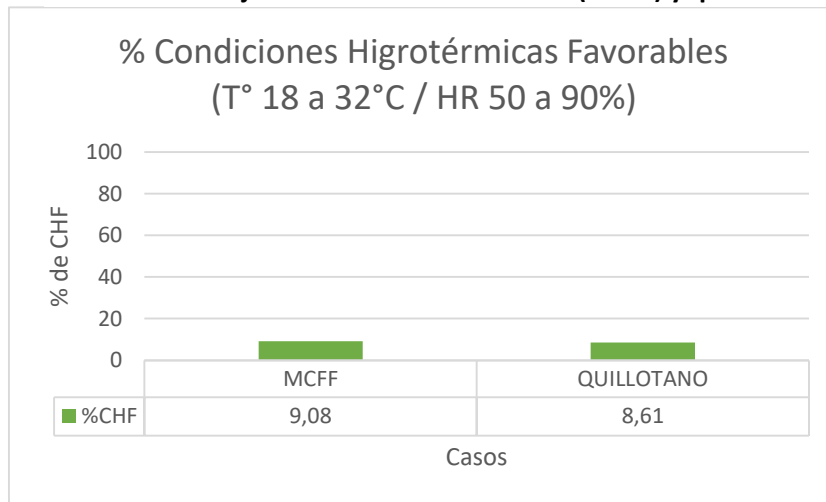
El mejor comportamiento higrotérmico del primer invernadero se debe principalmente a su bajo volumen de aire, en comparación al invernadero quillotano. Además esto se explica debido a la ausencia de la activación de ventilación natural en las simulaciones ejecutadas.

De igual modo, influye la diferencia de compacidad entre los invernaderos analizados, ya que el MCFF al ser más compacto y bajo tiene menos pérdida de calor en comparación al invernadero quillotano, el cual es más largo y alto, por lo que pierde mayor cantidad de temperatura. (ver gráfico 3.1)

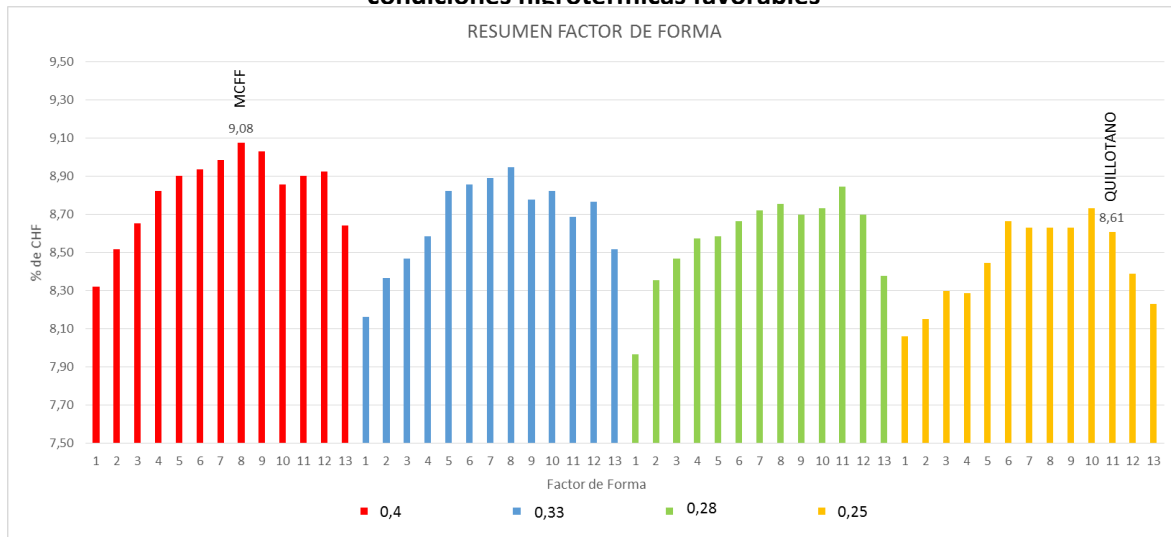
**Gráfico 3.2: Comportamiento de la temperatura y HR del MCFF e invernadero quillotano**



**Gráfico 3.1: Comparativa del desempeño de porcentaje de CHF entre el mejor caso de factor de forma (MCFF) y quillotano**



**Gráfico 3.3: Resumen de comportamiento del factor de forma y su relación con el porcentaje de condiciones higrotérmicas favorables**



### 3.3.2 Orientación

De acuerdo a lo establecido en la estructura del árbol de parametrización (figura 3.7), los 2 casos resultantes de la parametrización del factor de forma (MCFF y quillotano), son parametrizados nuevamente de acuerdo a distintas orientaciones, con el objetivo de evaluar el porcentaje de condiciones higrotérmicas favorables y poder seleccionar la mejor orientación para cada uno.

Se analizan de acuerdo a 4 orientaciones 0°, 45°, 90° y 135° (figura 3.6). Para poder seleccionar aquella orientación más óptima es necesario realizar las simulaciones con ventilación natural, ya que la incidencia de los vientos predominantes afectaría el resultado del porcentaje de CHF.

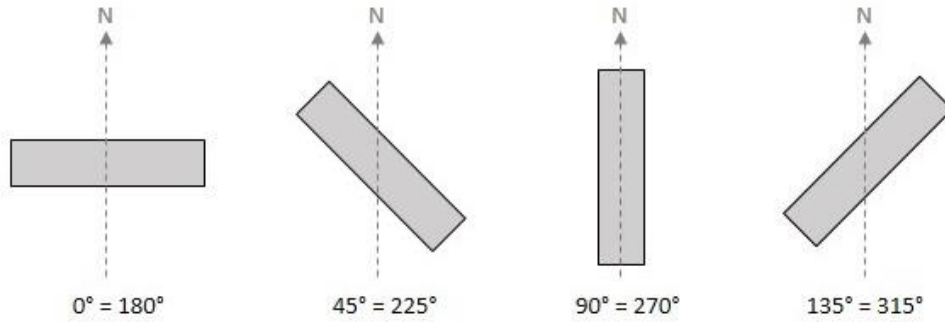


Figura 3.6: Esquemas de las orientaciones analizadas

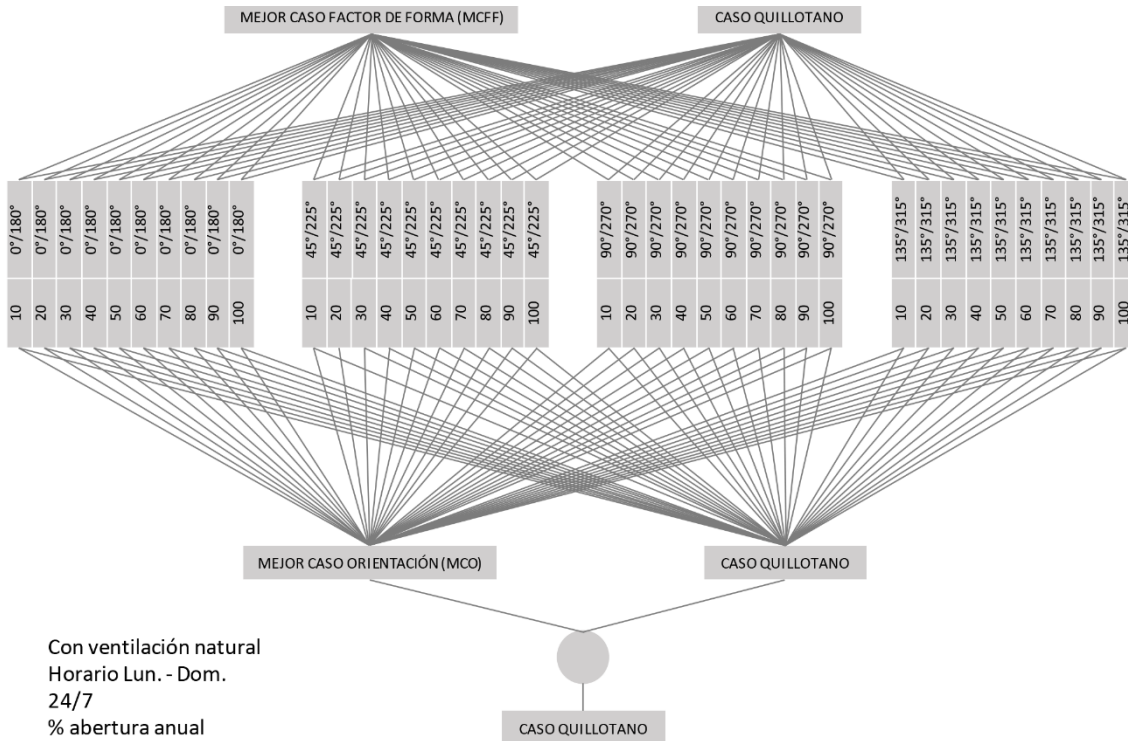
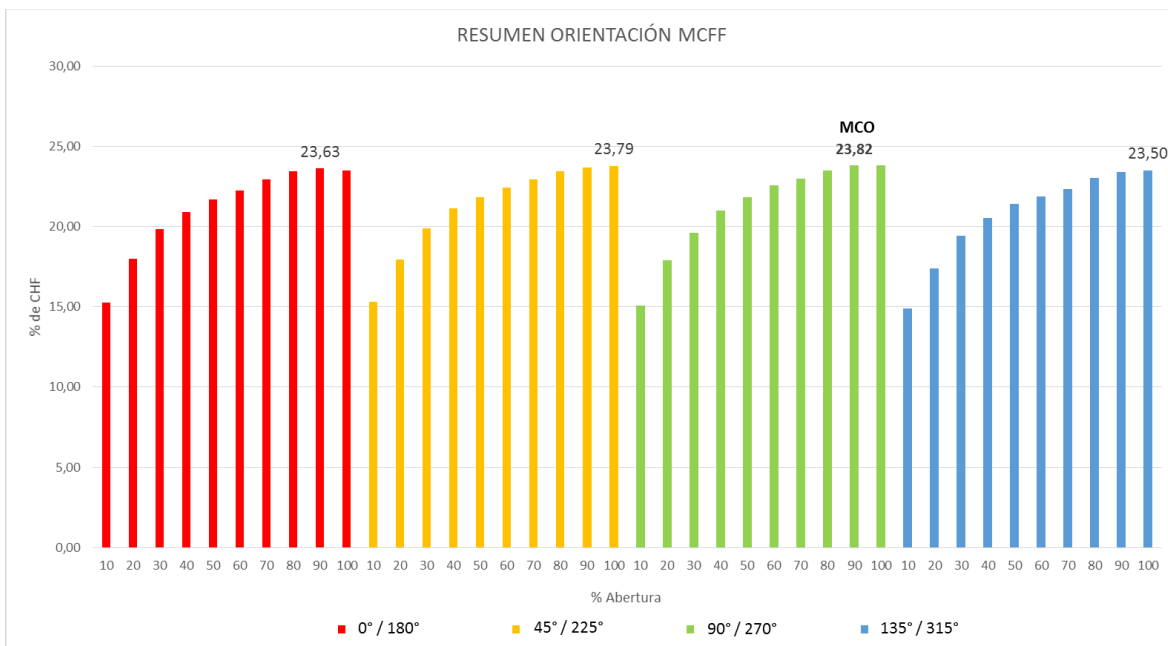


Figura 3.7: Esquema de árbol de parametrización de la orientación

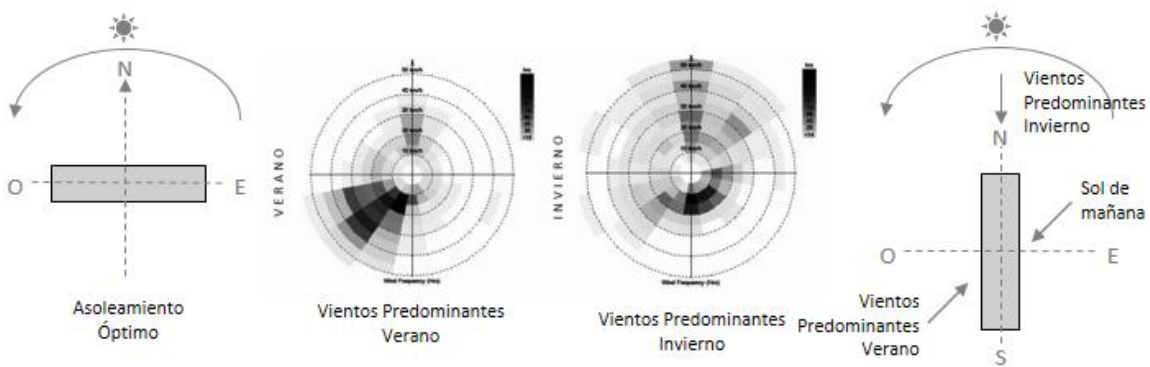
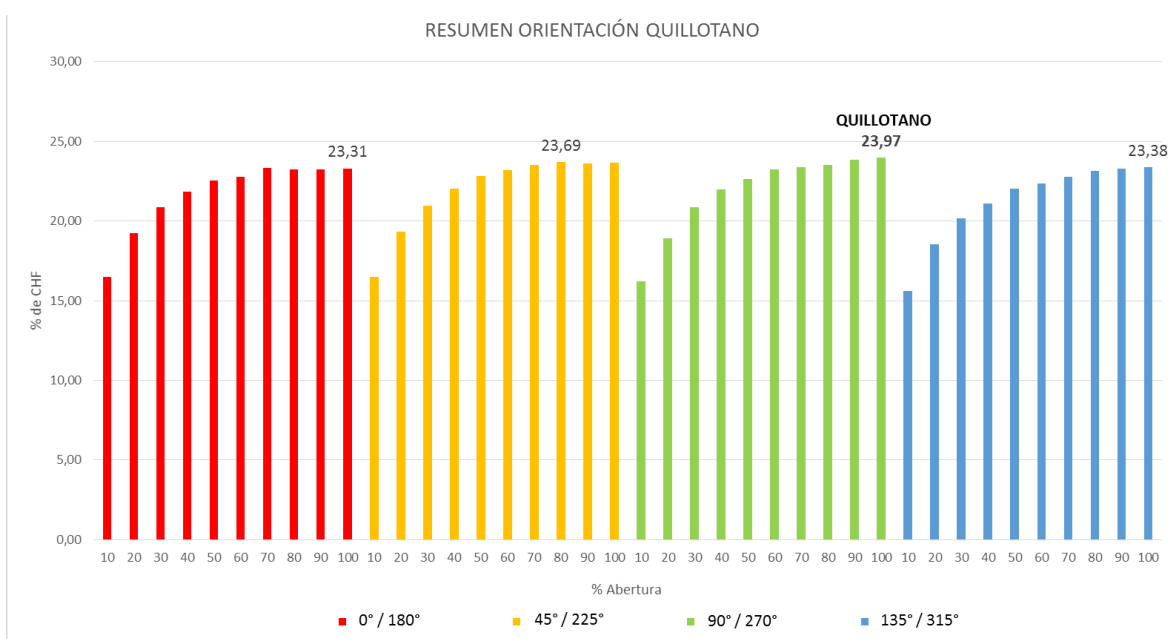
Al observar los datos de la gráfica (ver gráfico 3.4 y 3.5) se desprende que la mejor orientación tanto para el mejor caso de factor de forma (MCFF) y quillotano es la de 90°. Si bien según la teoría se recomienda que los invernaderos deban estar orientados en sentido EO en su eje longitudinal (Ver figura 3.8a) con el fin de obtener la mayor cantidad de asoleamiento, se debe recordar la influencia de los vientos predominantes en la zona geográfica donde esté emplazado el invernadero.

Al observar la gráfica de los vientos predominantes (ver figura 3.8b) en la ciudad de Concepción se determina que la mejor orientación es la de NS en su eje longitudinal (ver figura 3.8c), ya que de esta forma el viento predominante en invierno enfrentaría la cara más pequeña del invernadero, evitando así las pérdidas de calor. De igual modo esta orientación permite captar luz solar en las primeras horas de la mañana, así como también de la tarde.

**Gráfico 3.4: Resumen de orientaciones analizadas del mejor caso de factor de forma (MCFF)**



**Gráfico 3.5: Resumen de orientaciones analizadas del invernadero quillotano**

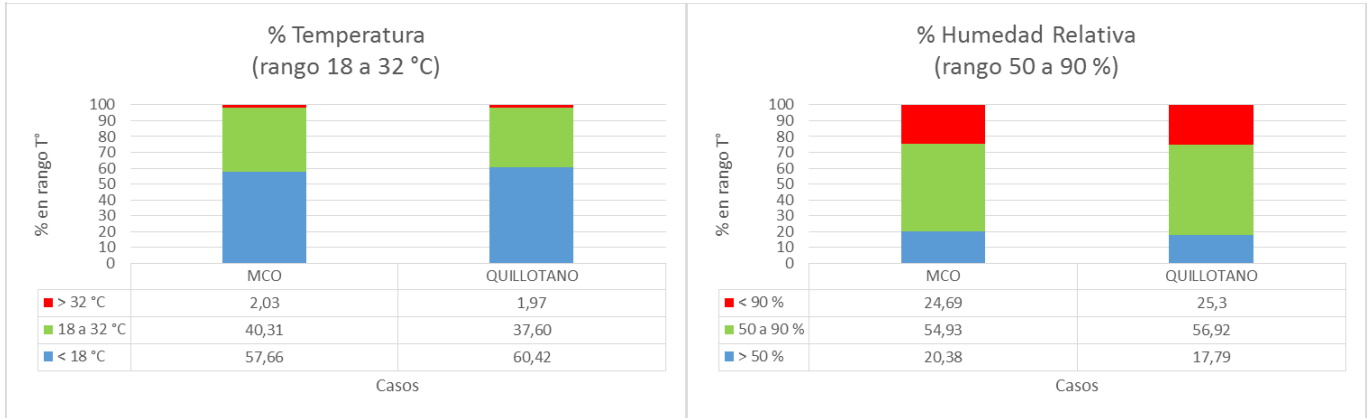


**Figura 3.8: Condicionantes del lugar: a) esquema asoleamiento, b) vientos predominantes de concepción y c) mejor orientación)**

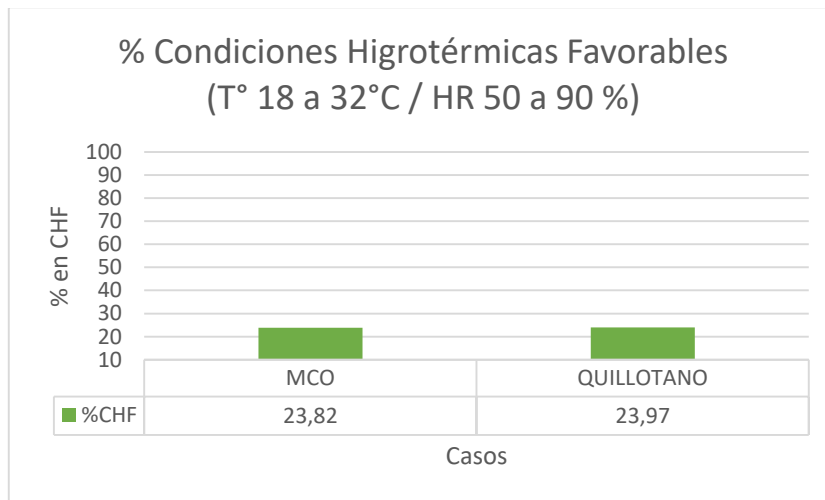
Al visualizar el porcentaje de distribución de los rangos de temperaturas anual en ambos casos, podemos observar que alrededor del 37% al 40% de horas se encuentra en el rango admisible para los cultivos (entre 18 y 32°C); mientras que entre el 57% y 60% de horas se encuentra bajo los 18°C. Por otro lado, sólo alrededor del 1% al 2% se encuentra por sobre los 32°C (ver gráfico 3.6). Esto quiere decir que en términos anuales para ambos invernaderos, el mayor inconveniente son las bajas temperaturas, debido al mal comportamiento térmico de la envolvente y a la ausencia de sistemas activos de calefacción.

En cuanto a la humedad relativa de ambos invernaderos, se observa un mayor porcentaje de horas dentro del rango admisible para los cultivos (50-90%), cuyo valor varía entre 54% y 56% de horas durante el periodo anual.

**Gráfico 3.6: Comportamiento del invernadero MCO y quillotano de acuerdo a porcentaje de temperatura y humedad relativa**



**Gráfico 3.7: Comportamiento del invernadero MCO y quillotano de acuerdo al porcentaje de CHF**



En base a la parametrización realizada, se selecciona el invernadero quillotano con orientación de 90° (orientación norte-sur en su eje longitudinal), pese a que éste presenta una diferencia mínima de porcentaje de CHF con respecto al invernadero MCO (ver gráfico 3.7). El invernadero quillotano al tener un mayor volumen de aire en su interior hace que sus condiciones higrotérmicas sean más estables, traduciéndose en un porcentaje de CHF levemente más elevado. Por otro lado, mientras mayor sea la altura del invernadero, es posible implementar una mayor variedad de cultivos en éste.

### 3.3.3 Porcentaje de aberturas

Habiendo seleccionado el caso quillotano como mejor tipología de invernadero de acuerdo a la parametrización del factor de forma y orientación, se procede a parametrizar nuevamente el porcentaje de abertura (entre 0% y 100%); pero en esta ocasión para los 12 meses del año, tanto en horario diurno como nocturno. (figura 3.9)

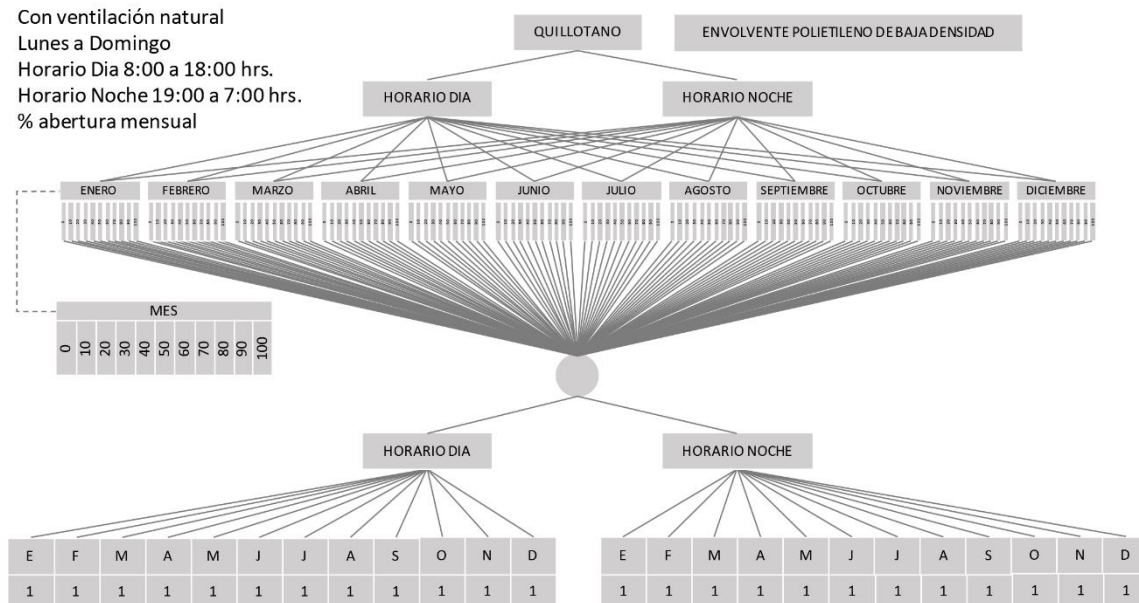


Figura 3.9: árbol paramétrico del porcentaje de aberturas

Tabla 3.3: Resultado de los % CHF máx. según % de abertura para cada mes y horario

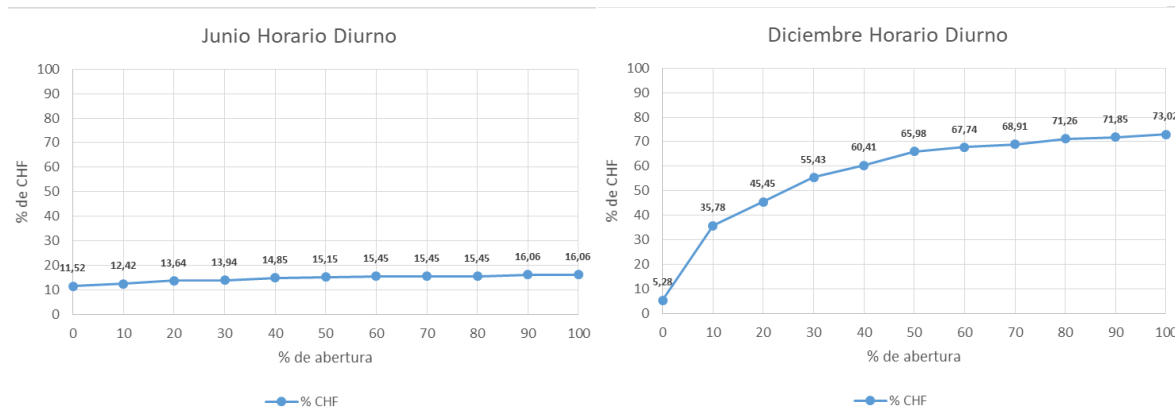
ENVOLVENTE POLIETILENO BAJA DENSIDAD								
MESES	DÍA				NOCHE			
	%ABERTURA	% T°	% HR	% CHF	%ABERTURA	% T°	% HR	% CHF
Enero	100	90,91	56,01	<b>54,55%</b>	60	36,32	61,19	<b>31,59%</b>
Febrero	100	81,82	60,06	<b>51,30%</b>	100	34,62	56,32	<b>29,12%</b>
Marzo	100	82,99	62,46	<b>53,67%</b>	90	27,79	51,12	<b>25,81%</b>
Abril	90	76,67	81,82	<b>66,36%</b>	20	12,82	44,62	<b>12,56%</b>
Mayo	90	45,45	65,69	<b>26,10%</b>	0	2,23	39,70	<b>1,99%</b>
Junio	90	37,88	56,39	<b>16,06%</b>	0	0	53,33	<b>0%</b>
Julio	80	34,60	58,94	<b>9,97%</b>	0	0,25	62,03	<b>0,25%</b>
Agosto	30	55,72	53,96	<b>19,65%</b>	20	3,47	58,06	<b>1,99%</b>
Septiembre	70	55,45	56,06	<b>28,79%</b>	20	8,97	57,44	<b>4,62%</b>
Octubre	60	77,13	73,02	<b>54,84%</b>	40	16,13	46,15	<b>12,41%</b>
Noviembre	100	87,88	62,12	<b>55,45%</b>	50	22,31	64,10	<b>17,44%</b>
Diciembre	100	90,91	75,07	<b>73,02%</b>	90	32,92	67,08	<b>30,20%</b>
<b>Promedios anuales</b>	<b>84,17</b>	<b>68,12</b>	<b>63,47</b>	<b>42,48%</b>	<b>40,83</b>	<b>16,49</b>	<b>55,10</b>	<b>14,00%</b>



Al observar los datos de la tabla 3.3 podemos detectar resultados inusuales respecto a la operación de las aberturas, principalmente en los meses y horarios más fríos del año, en donde por ejemplo, en el mes de junio se necesita una abertura del 90% para obtener un porcentaje de CHF de sólo 16,06%. Esto se traduce en un gran esfuerzo de abertura de ventanas para alcanzar un porcentaje de CHF relativamente bajo.

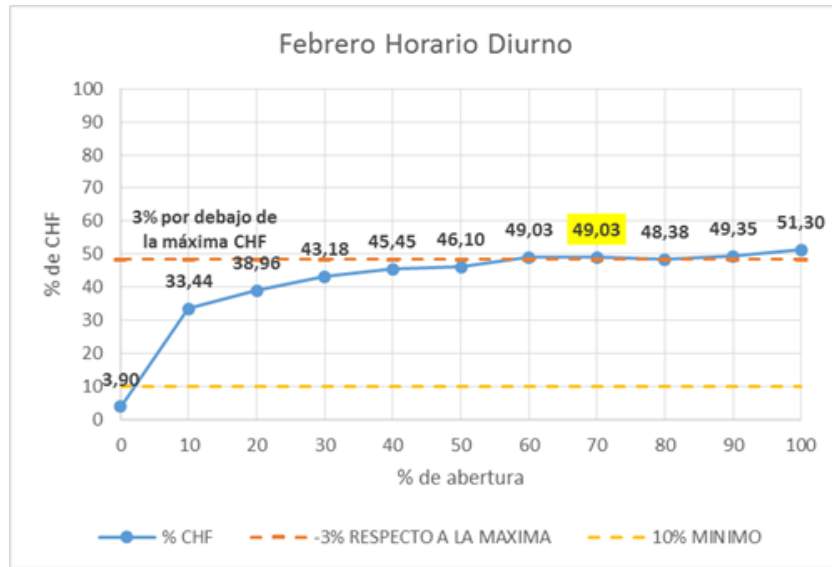
Al visualizar el porcentaje de CHF respecto a las aberturas analizadas de cada mes, se detecta que a medida que se aumenta el porcentaje de abertura, el porcentaje de CHF tiende a estabilizarse (ver gráfico 3.8), razón por la cual se decide establecer un rango de selección de datos que apunta a facilitar el manejo manual del invernadero en cuanto a sus aberturas por parte de los operarios. (ver gráfico 3.9).

**Gráfico 3.8: %CHF diurno según aberturas en junio y diciembre**



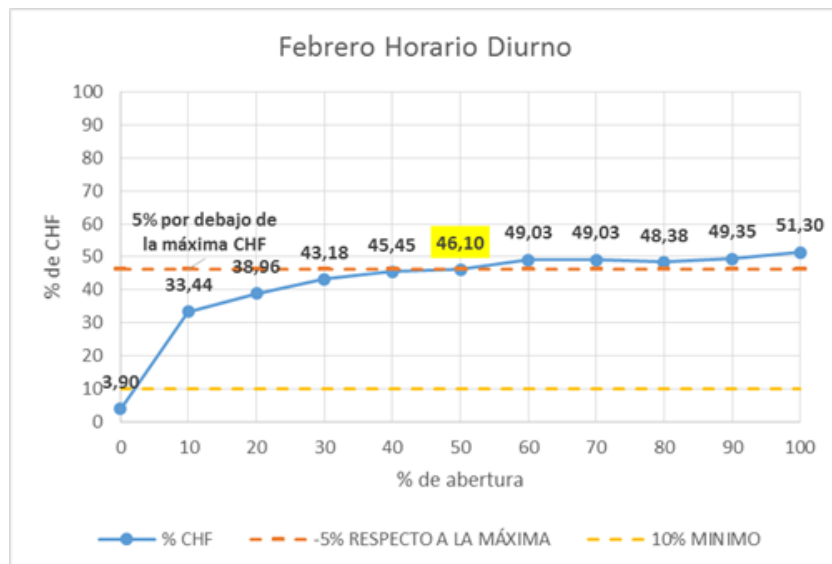
Para determinar el rango de selección máximo se estableció en primera instancia un 3% por debajo de la máxima de porcentaje de CHF, en donde dicha cifra equivale a 10 horas en el horario diurno y 11 horas en el horario nocturno. Tomando como ejemplo el mes de febrero es posible ver que el rango de selección máximo arrojó una abertura del 70% con un 49,03% de CHF. Al observar el punto seleccionado se detecta que éste no se acerca al punto de inflexión de la curva, ubicándose entre los porcentajes de abertura donde el porcentaje de CHF se mantiene estable, razón por la cual no se justifica como el porcentaje de abertura más apropiado. (ver gráfico 3.8)

**Gráfico 3.9: Ejemplo de criterio de rango de selección del 3% respecto a la máxima**



Habiendo detectado la falencia del 3% por debajo de la máxima se establece un nuevo rango de selección del 5% por debajo de la máxima del porcentaje de CHF. Al observar el mismo mes de febrero en horario diurno, la aplicación de este rango permitió establecer un 50% de abertura, correspondiente a un 46,10% de CHF, a diferencia del gráfico 3.8, el punto seleccionado se acerca al punto de inflexión de la curva. Con este nuevo rango de selección se logró reducir notoriamente el porcentaje de abertura de ventanas, mientras que el porcentaje de CHF disminuyó muy poco. (ver gráfico 3.9)

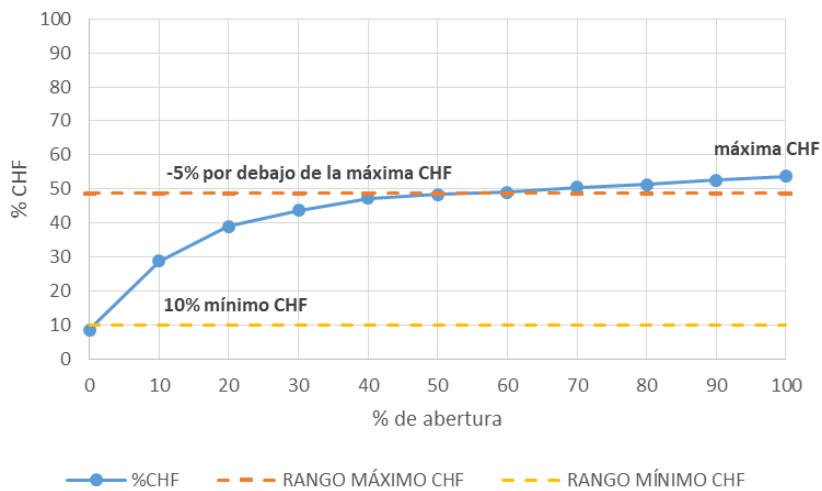
**Gráfico 3.10: Ejemplo de criterio de rango de selección del 5% respecto a la máxima**



Con el objetivo de definir el límite mínimo para realizar las aberturas, se analizan los porcentajes de horas en condiciones higrotérmicas favorables obtenidos (ver gráficos 3.14 y 3.15). Al visualizar los gráficos de horario diurno, se observa que en gran parte de los meses con una abertura del 0% se logran porcentajes de CHF relativamente cercanos al 10%. Esto se complementa con la necesidad de tener una manipulación mínima de las ventanas por parte de los operarios, razón por la cual se decide optar por un 10% de CHF base para iniciar el trabajo de abertura.

En consecuencia, se decide establecer un rango de discriminación de datos final, el cual consiste en un 5% por debajo de la máxima obtenida de CHF, y un 10% como rango mínimo de CHF para maniobrar la abertura de ventanas. De esta forma se establece un rango de selección que permite obtener un alto porcentaje de CHF respecto a un esfuerzo mínimo por parte de los operarios para maniobrar las ventanas. (ver gráfico 3.11)

**Gráfico 3.11: criterio rangos de selección**

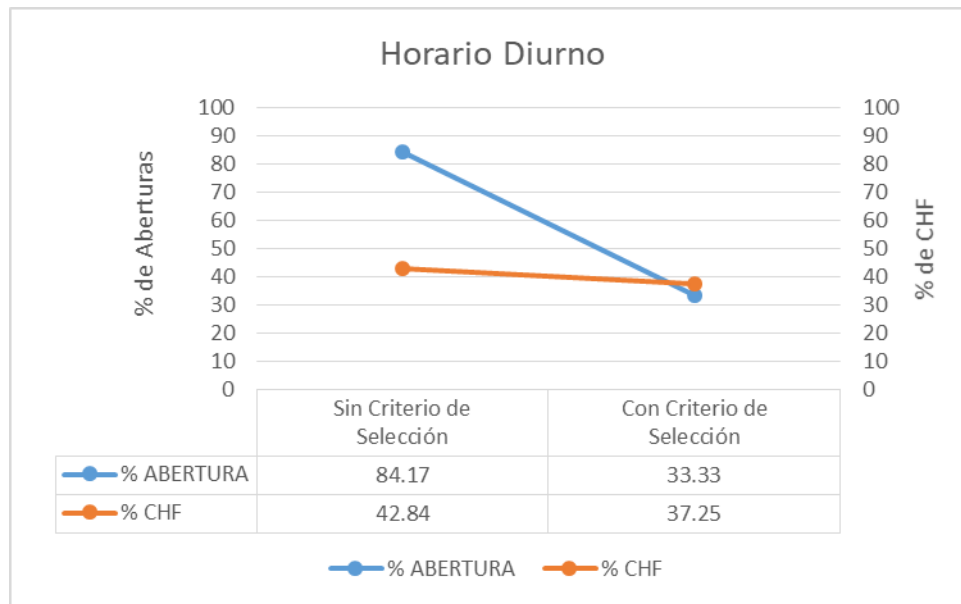


Una vez aplicados los criterios de rango selección (ver gráfico 3.11), se obtienen los resultados expuestos en la tabla 3.4, en la cual se aprecia una baja notoria en los porcentajes de abertura, principalmente en los meses fríos y en el horario nocturno. Sin embargo, los porcentajes en condiciones higrotérmicas favorables (CHF) disminuyen levemente (ver tabla 3.3 y 3.4). De igual modo este comportamiento se observa en la variación del porcentaje anual de abertura y CHF, en donde al aplicar el criterio de rango de selección los porcentajes de abertura disminuyen drásticamente; mientras que los porcentajes de CHF se mantienen relativamente estables. (ver gráfico 3.12 y 3.13). De este modo el esfuerzo por parte de los operarios para realizar a aberturas es mínimo, sin afectar mayormente al porcentaje de CHF.

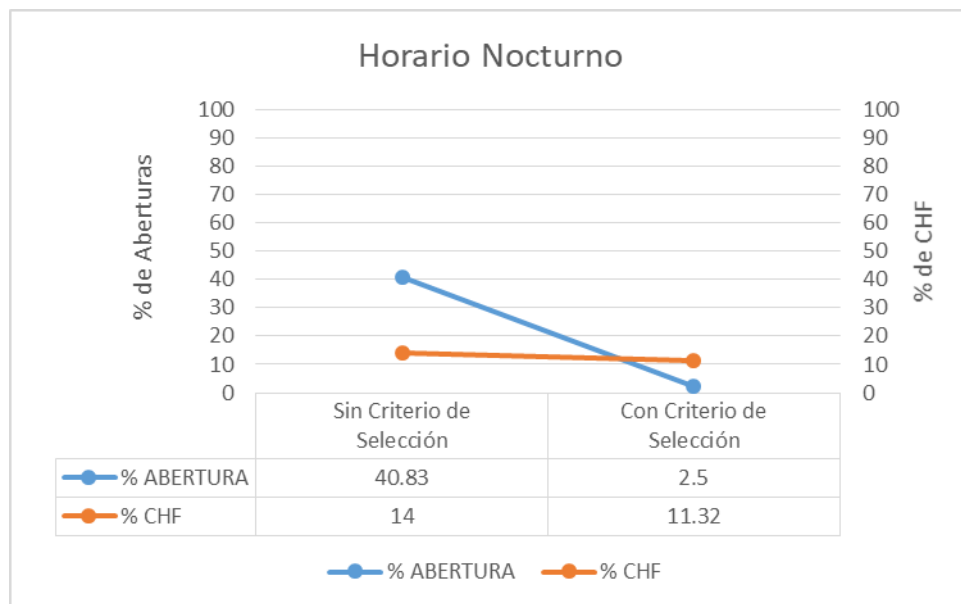
**Tabla 3.4: Tabla de programa de aberturas de invernadero con discriminación de datos de según porcentaje de CHF para cada mes y su correspondiente horario**

ENVOLVENTE POLIETILENO BAJA DENSIDAD CON CRITERIOS DE RANGOS DE SELECCIÓN								
MESES	DÍA				NOCHE			
	%ABERTURA	% T°	% HR	% CHF	%ABERTURA	% T°	% HR	% CHF
Enero	50	90,91	52,49	<b>51,03%</b>	10	36,82	57,96	<b>28,36%</b>
Febrero	50	81,82	54,87	<b>46,10%</b>	10	35,16	52,2	<b>25,82%</b>
Marzo	50	83,28	56,89	<b>48,39%</b>	0	27,3	44,67	<b>17,87%</b>
Abril	50	79,39	73,03	<b>60,91%</b>	0	13,59	41,28	<b>10,26%</b>
Mayo	10	47,51	59,24	<b>20,23%</b>	0	2,23	39,7	<b>1,99%</b>
Junio	0	42,12	55,15	<b>11,52%</b>	0	0	53,33	<b>0,00%</b>
Julio	0	39	51,03	<b>4,11%</b>	0	0,25	62,03	<b>0,25%</b>
Agosto	10	58,06	49,27	<b>15,84%</b>	0	3,23	57,57	<b>1,49%</b>
Septiembre	20	71,21	42,73	<b>22,42%</b>	0	9,49	56,15	<b>3,33%</b>
Octubre	30	82,4	63,05	<b>48,09%</b>	0	16,38	40,2	<b>7,69%</b>
Noviembre	60	90,3	54,85	<b>49,39%</b>	0	21,28	50,26	<b>12,31%</b>
Diciembre	70	91,2	70,67	<b>68,91%</b>	10	28,47	42,82	<b>26,49%</b>
<b>Promedios anuales</b>	<b>33,33</b>	<b>71,43</b>	<b>56,94</b>	<b>37,25%</b>	<b>2,5</b>	<b>16,18</b>	<b>49,85</b>	<b>11,32%</b>

**Gráfico 3.12: Variación del porcentaje anual de abertura y CHF según la implementación criterio de rango de selección en horario diurno**

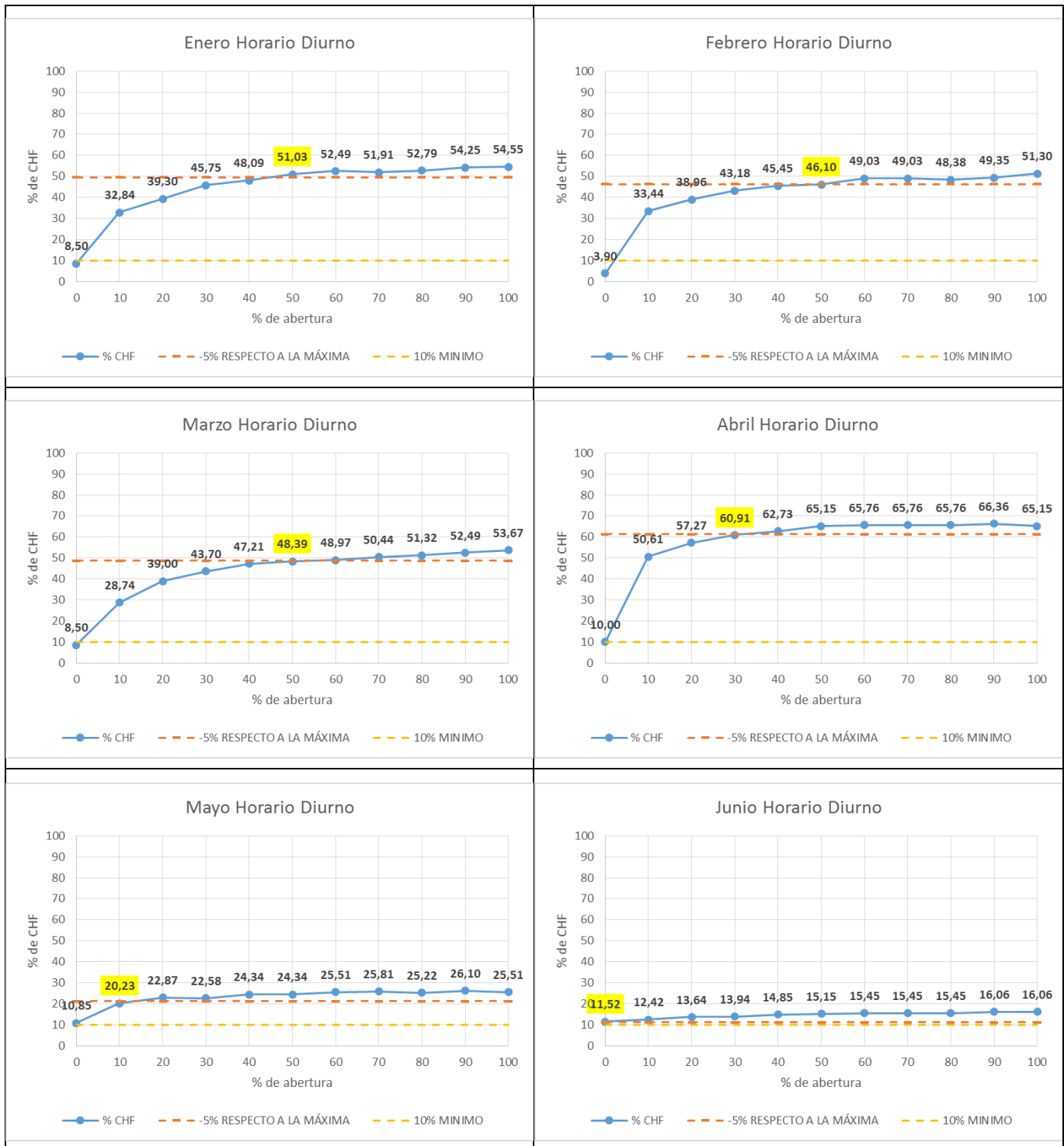


**Gráfico 3.13: Variación del porcentaje anual de abertura y CHF según la implementación criterio de rango de selección en horario nocturno**

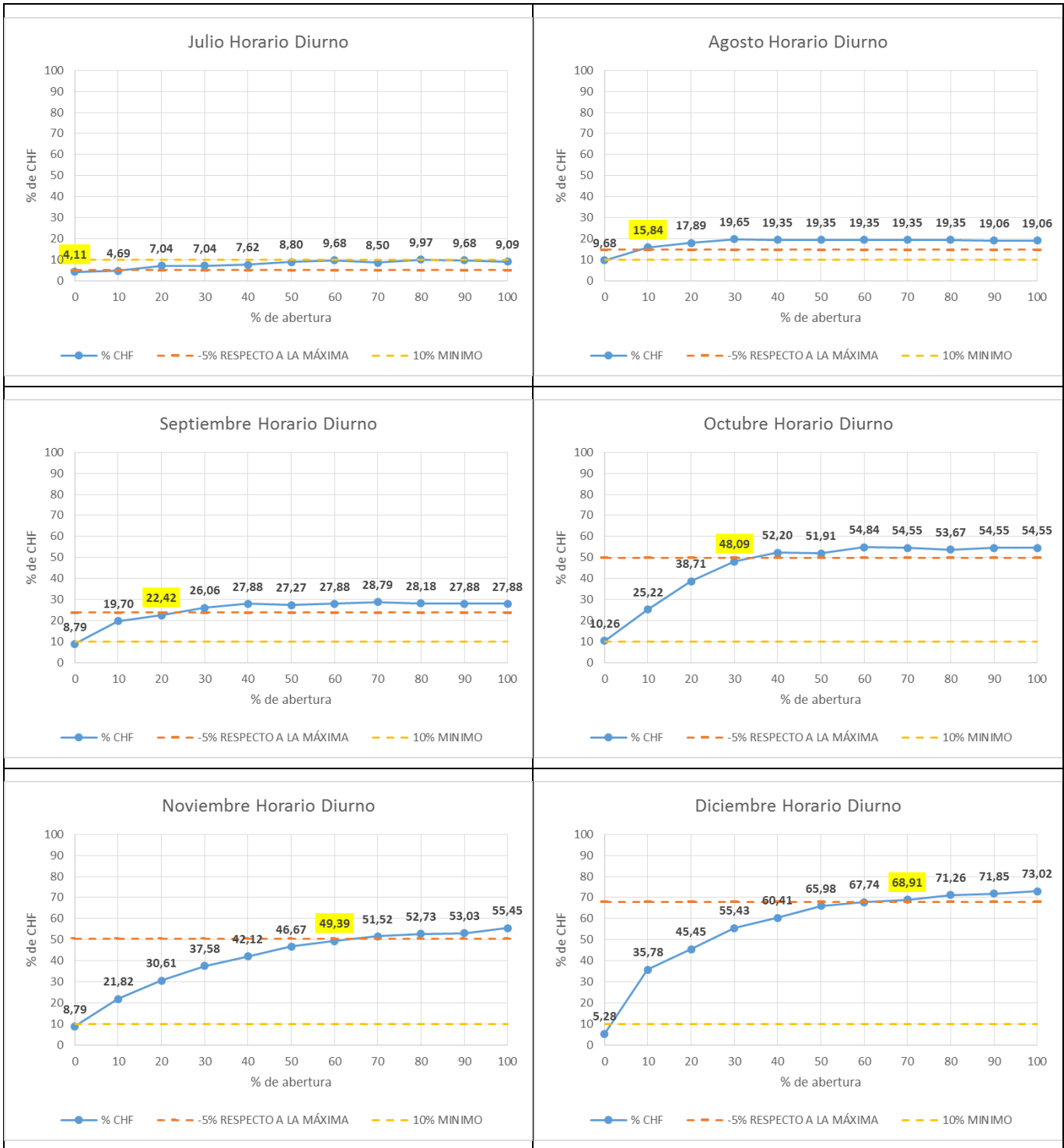


A continuación se presentan los gráficos mensuales para los horarios establecidos de acuerdo a los criterios de rangos de selección explicados anteriormente. (gráficos 3.14 y 3.15)

**Gráfico 3.14: Resumen de gráficos de % de CHF según aberturas de cada mes del año en horario diurno**



Capítulo 3: Estudio de parámetros de diseño pasivo



**Gráfico 3.15: Resumen de gráficos de % de CHF según aberturas de cada mes del año en horario nocturno**





Capítulo 3: Estudio de parámetros de diseño pasivo



### 3.4 Caso Mejorado: Evaluación de la Envolvente y porcentaje de aberturas

Teniendo claro ya el comportamiento del invernadero quillotano con envoltente de polietileno de baja densidad, se hace necesario determinar la incidencia del tipo de envoltente en el invernadero respecto al porcentaje de condiciones higrotérmicas favorables (CHF), así como también en el porcentaje de aberturas.

La parametrización del caso mejorado se realizará con una envoltente de policarbonato alveolar. La elección de esta envoltente se justifica debido a su desempeño térmico (ver tabla 2.9) y precio asequible en comparación con otras envoltentes más técnicas como el doble vidrio hortícola. De acuerdo a lo mencionado en el punto 2.2.2 el policarbonato alveolar se encuentra dentro de las envoltentes más comunes de los invernaderos quillotanos en Chile.

De igual forma que en el caso anterior, la parametrización se realizará bajo la misma metodología utilizando los mismos criterios de selección de datos. (ver gráfico 3.16 de criterio rango de selección)

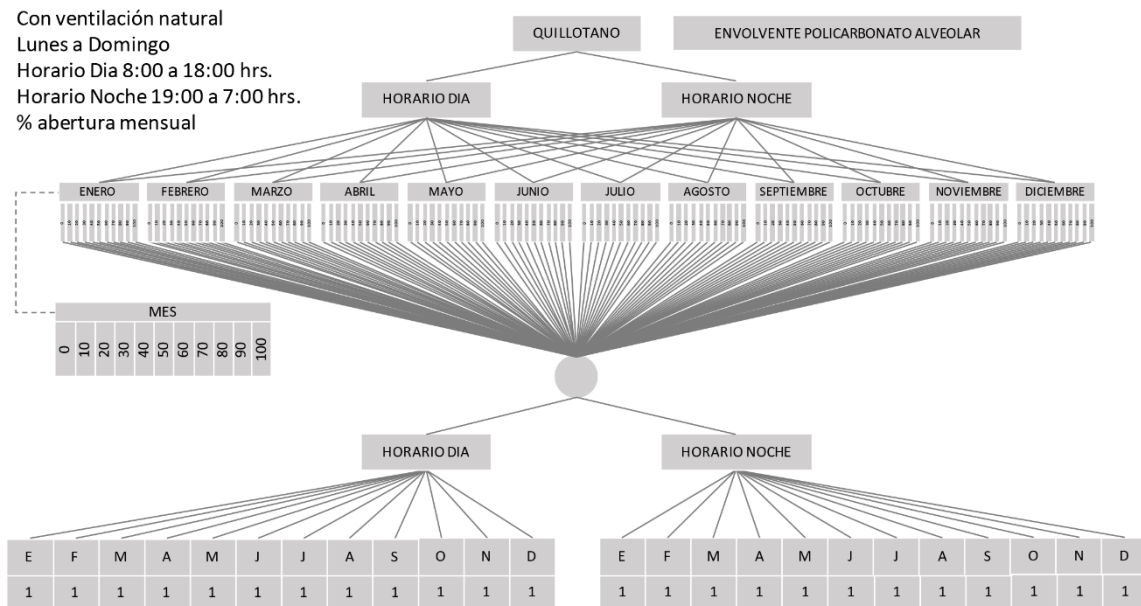


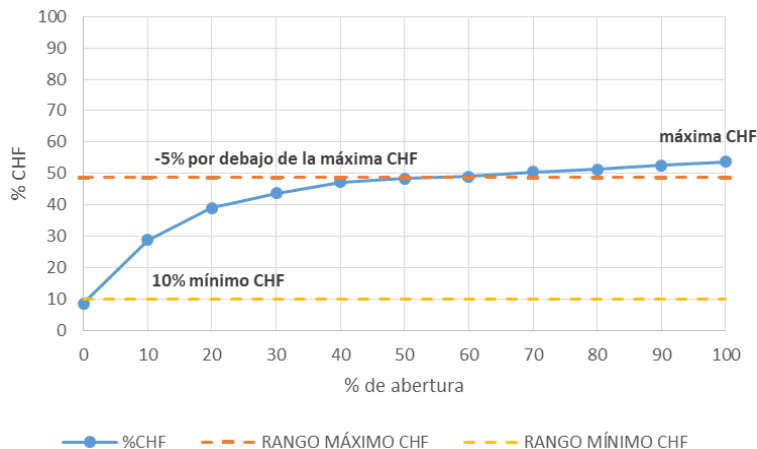
Figura 3.10: Árbol de parametrización de caso mejorado

**Tabla 3.5: Resultados de porcentaje de aberturas con envoltente de policarbonato alveolar de acuerdo al valor de % de CHF mayor**

ENVOLVENTE POLICARBONATO ALVEOLAR								
MESES	DÍA				NOCHE			
	%ABERTURA	% T°	% HR	% CHF	%ABERTURA	% T°	% HR	% CHF
Enero	100	90,91	56,01	<b>54,55%</b>	100	38,06	62,94	<b>33,83%</b>
Febrero	100	82,79	59,42	<b>51,62%</b>	100	39,29	55,49	<b>31,87%</b>
Marzo	100	81,23	62,76	<b>52,49%</b>	90	30,77	53,60	<b>28,29%</b>
Abril	60	77,27	81,21	<b>67,58%</b>	20	17,14	50,21	<b>16,41%</b>
Mayo	90	53,96	64,52	<b>32,55%</b>	10	3,23	42,18	<b>2,48%</b>
Junio	90	40,30	57,88	<b>17,88%</b>	0	0,26	50,51	<b>0,26%</b>
Julio	90	35,19	55,43	<b>11,73%</b>	0	1,99	64,02	<b>1,49%</b>
Agosto	50	56,60	53,08	<b>24,63%</b>	10	5,21	56,58	<b>2,73%</b>
Septiembre	70	56,97	57,88	<b>33,33%</b>	10	13,59	59,49	<b>6,41%</b>
Octubre	70	76,54	72,14	<b>53,96%</b>	20	19,11	49,38	<b>15,14%</b>
Noviembre	100	86,36	63,03	<b>56,06%</b>	50	27,18	65,38	<b>20,77%</b>
Diciembre	100	90,91	73,90	<b>72,14%</b>	100	34,90	68,56	<b>32,67%</b>
<b>Promedios anuales</b>	<b>85</b>	<b>69,09</b>	<b>63,11</b>	<b>44,04%</b>	<b>42,50</b>	<b>19,23</b>	<b>56,53</b>	<b>16,03%</b>

Al igual que en el caso anterior, el porcentaje de aberturas no se condice con los resultados de porcentaje de CHF. Esto se observa especialmente en los meses de invierno, en donde el porcentaje de apertura de un 90% (horario diurno) alcanza un porcentaje de CHF poco significativo, considerando además que el invernadero analizado tiene un manejo manual de aberturas. En base los resultados obtenidos (Ver Tabla 3.5) y al criterio de rangos de selección (ver gráfico 3.16) se determinan los nuevos porcentajes de apertura acordes a cada mes y horario (Ver gráficos 3.19 y 3.20).

**Gráfico 3.16: criterio rangos de selección**



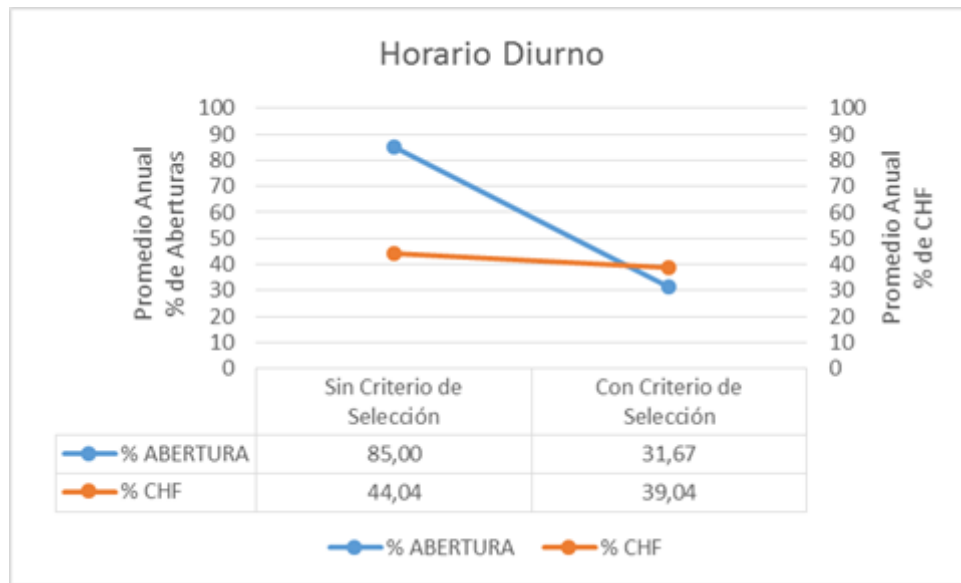
Una vez finalizada la parametrización del porcentaje de aberturas del invernadero quillotano con la envolvente de policarbonato alveolar se obtienen los siguientes datos de acuerdo a los rangos de selección estipulados en (Ver gráfico 3.16):

**Tabla 3.6: Porcentaje de abertura propuestos para envolvente de policarbonato alveolar**

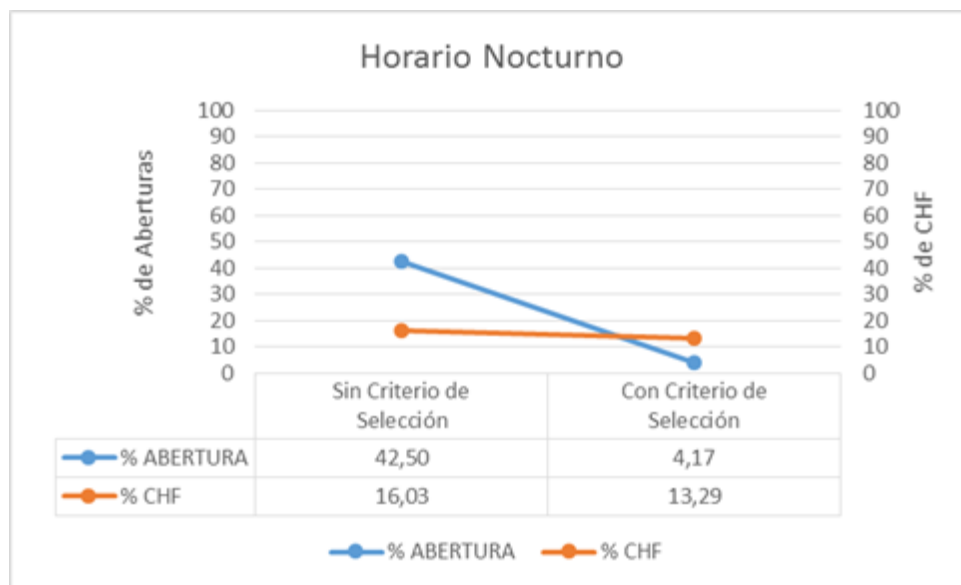
ENVOLVENTE POLICARBONATO ALVEOLAR CON CRITERIOS DE RANGOS DE SELECCIÓN								
MESES	DÍA				NOCHE			
	%ABERTURA	% T°	% HR	% CHF	%ABERTURA	% T°	% HR	% CHF
Enero	50	90,91	51,32	<b>49,85%</b>	10	39,3	57,96	<b>28,86%</b>
Febrero	40	82,79	54,22	<b>46,43%</b>	10	38,74	52,2	<b>28,30%</b>
Marzo	40	81,82	56,01	<b>46,63%</b>	0	29,78	41,94	<b>19,11%</b>
Abril	30	78,79	74,24	<b>61,52%</b>	0	17,95	41,28	<b>11,54%</b>
Mayo	10	56,6	58,36	<b>27,57%</b>	0	3,47	41,44	<b>1,99%</b>
Junio	10	47,27	51,82	<b>14,24%</b>	0	0,26	50,51	<b>0,26%</b>
Julio	0	39,88	44,57	<b>5,28%</b>	0	1,99	64,02	<b>1,49%</b>
Agosto	10	65,69	45,45	<b>20,82%</b>	0	6,2	56,82	<b>2,23%</b>
Septiembre	20	74,24	45,45	<b>28,48%</b>	0	14,87	55,38	<b>5,13%</b>
Octubre	30	83,58	61	<b>48,39%</b>	10	19,6	47,15	<b>13,90%</b>
Noviembre	70	87,54	57,27	<b>51,21%</b>	10	27,69	60,26	<b>18,46%</b>
Diciembre	70	90,91	69,79	<b>68,04%</b>	10	36,14	61,63	<b>28,22%</b>
<b>Promedios anuales</b>	<b>31,67</b>	<b>73,34</b>	<b>55,79</b>	<b>39,04%</b>	<b>4,17</b>	<b>19,67</b>	<b>52,55</b>	<b>13,29%</b>

Al observar los datos de la tabla 3.6, se aprecia el mismo comportamiento del porcentaje de abertura y porcentaje de CHF del invernadero con envolvente de polietileno de baja densidad (ver tabla 3.4), una vez aplicado el criterio de rangos de selección de datos. Se aprecia una baja notoria en los porcentajes de abertura, principalmente en los meses fríos y en el horario nocturno; sin embargo, los porcentajes en condiciones higrotérmicas favorables (CHF) disminuyen levemente (ver tabla 3.5 y 3.6). De igual modo, este comportamiento se observa en la variación del porcentaje anual de abertura y CHF, en donde al aplicar el criterio de rango de selección los porcentajes de abertura disminuyen drásticamente; mientras que los porcentajes de CHF se mantienen relativamente estables. (ver gráfico 3.17 y 3.18). De este modo, al igual que en el invernadero quillotano con envolvente de polietileno, el esfuerzo por parte de los operarios para realizar a aberturas es mínimo, sin afectar mayormente al porcentaje de CHF.

**Gráfico 3.17: Variación del porcentaje anual de abertura y CHF según la implementación criterio de rango de selección en horario diurno con envoltente de policarbonato**

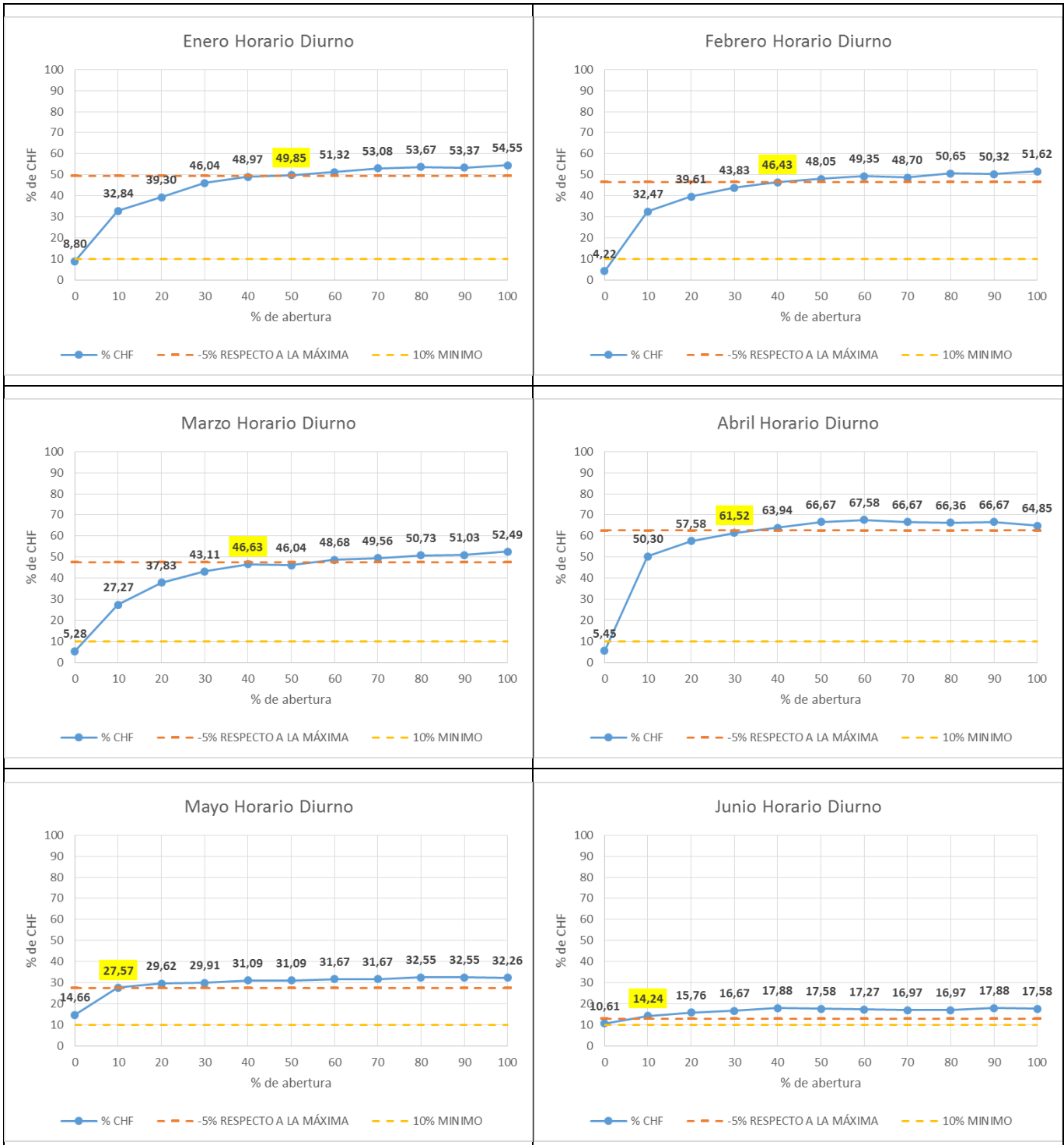


**Gráfico 3.18: Variación del porcentaje anual de abertura y CHF según la implementación criterio de rango de selección en horario nocturno con envoltente de policarbonato**



A continuación se presentan los gráficos mensuales para los horarios establecidos de acuerdo a los criterios de rangos de selección explicados anteriormente. (gráficos 3.19 y 3.20)

**Gráfico 3.19: Resumen de gráficos de % de CHF según aberturas de cada mes del año en horario diurno**



Capítulo 3: Estudio de parámetros de diseño pasivo

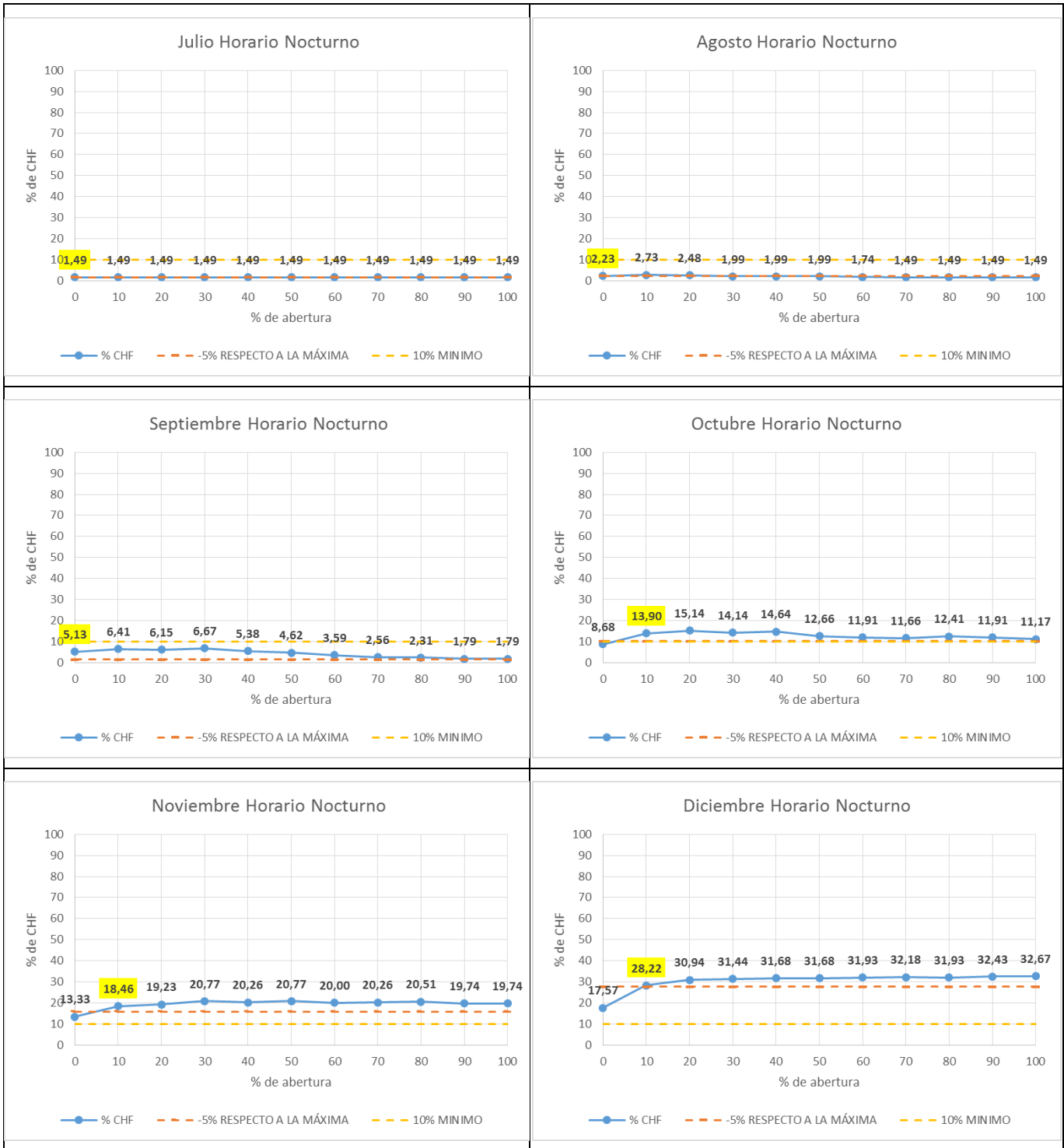


**Gráfico 3.20: Resumen de gráficos de % de CHF según aberturas de cada mes del año en horario nocturno**





Capítulo 3: Estudio de parámetros de diseño pasivo



Al observar los datos es posible visualizar que los porcentajes de CHF han mejorado en relación a los obtenidos en la envolvente de polietileno (ver tablas 3.4 y 3.6). Esto se puede corroborar en los promedios anuales de los porcentajes de las condiciones higrotérmicas favorables (CHF), en donde el invernadero con envolvente de polietileno de baja densidad tuvo un porcentaje de 37,25% CHF en el horario diurno, y un 11,32% en horario nocturnos; mientras que el invernadero con envolvente de policarbonato alveolar tuvo un CHF de 39,04% en horario diurno y un 13,29% en horario nocturno. Cabe señalar que estos valores no son representativos de cada mes del año; pero demuestran el comportamiento general de cada envolvente en un periodo anual, en donde el policarbonato alveolar presenta un desempeño levemente superior respecto al polietileno de baja densidad.

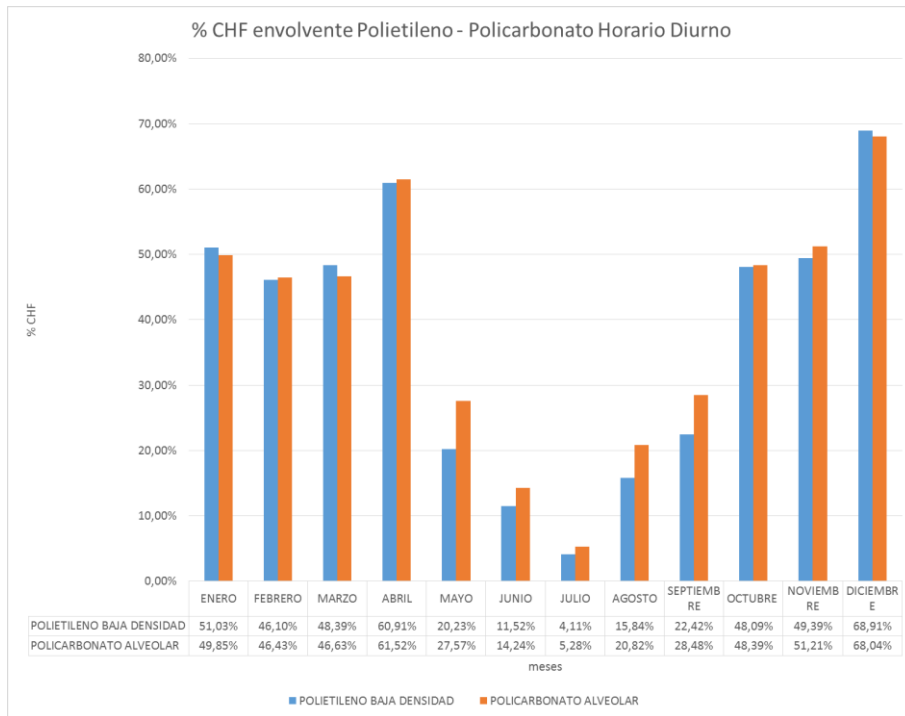
Al ver en detalle el comportamiento del CHF en cada mes del año de las envolventes de polietileno de baja densidad y policarbonato alveolar, es posible observar que los mayores aumentos en el porcentaje de CHF ocurren entre los meses de mayo a septiembre en el horario diurno, así como también en la totalidad de los meses del año en horario nocturno. (ver gráfico 3.21 y 3.22). Es decir que el policarbonato alveolar como envolvente tiene un mejor desempeño higrotérmico en épocas frías.

Respecto a la temperatura, ambas envolventes presentan una variación térmica considerable entre los horarios diurnos y nocturnos (ver gráfico 3.23 y 3.24). Se puede observar que el policarbonato alveolar presenta un mejor desempeño térmico en los meses fríos y en la totalidad de los horarios nocturnos; mientras que en los horarios diurnos de los meses calurosos el polietileno de baja densidad tiene un mejor comportamiento térmico. Esto se debe a la mayor capacidad de conservación de calor por parte del policarbonato alveolar (ver tabla 2.9).

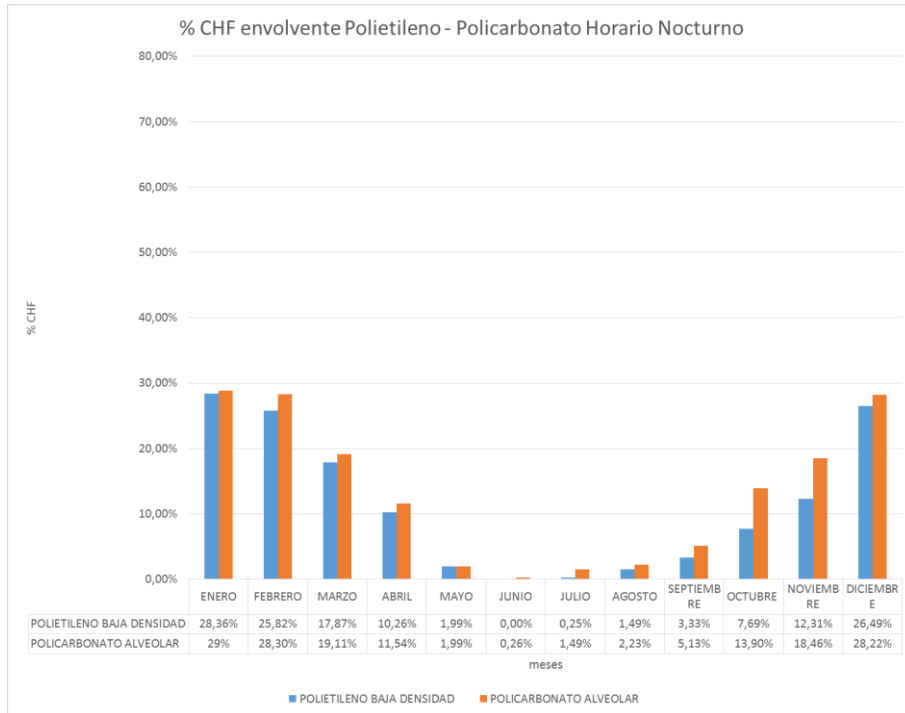
En cambio, en la humedad relativa de ambas envolventes, no se observan mayores variaciones, tanto en el horario diurno como en el nocturno (ver gráfico 3.25 y 3.26). Este comportamiento relativamente estable se podría asociar a la alta humedad relativa presente en Concepción, debido a su cercanía con el Océano Pacífico y su régimen de precipitaciones anuales.

Los casos que presentan aberturas del 0% y que a su vez el porcentaje de CHF es poco significativo, se podría recomendar la implementación de sistemas activos de calefacción; sin embargo se debe considerar que el uso de éstos podría modificar el porcentaje de humedad relativa en el ambiente.

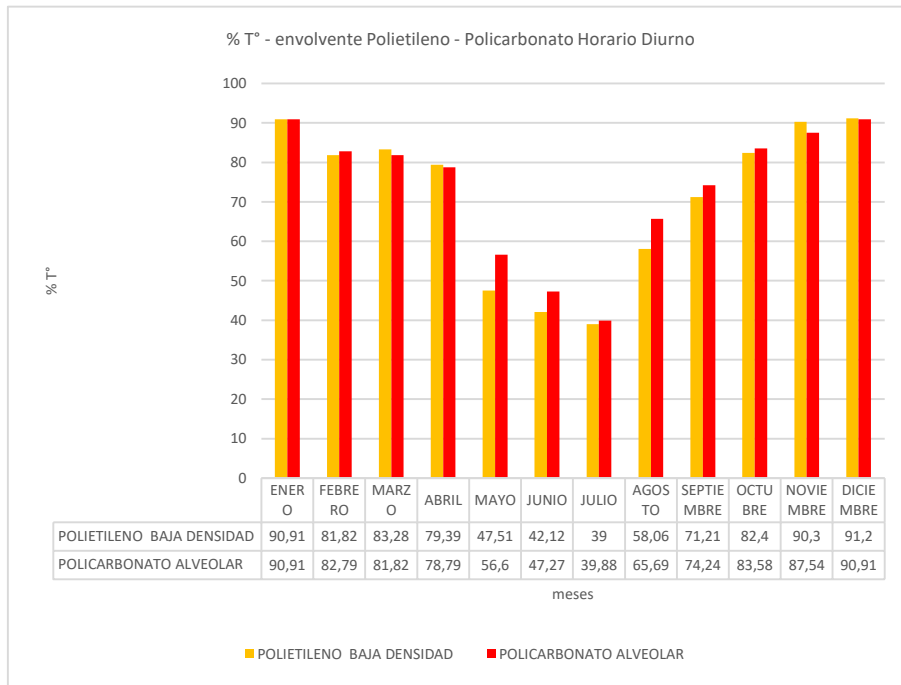
**Gráfico 3.21: Porcentaje de CHF obtenidos con envoltente de polietileno y policarbonato mensual en horario diurno**



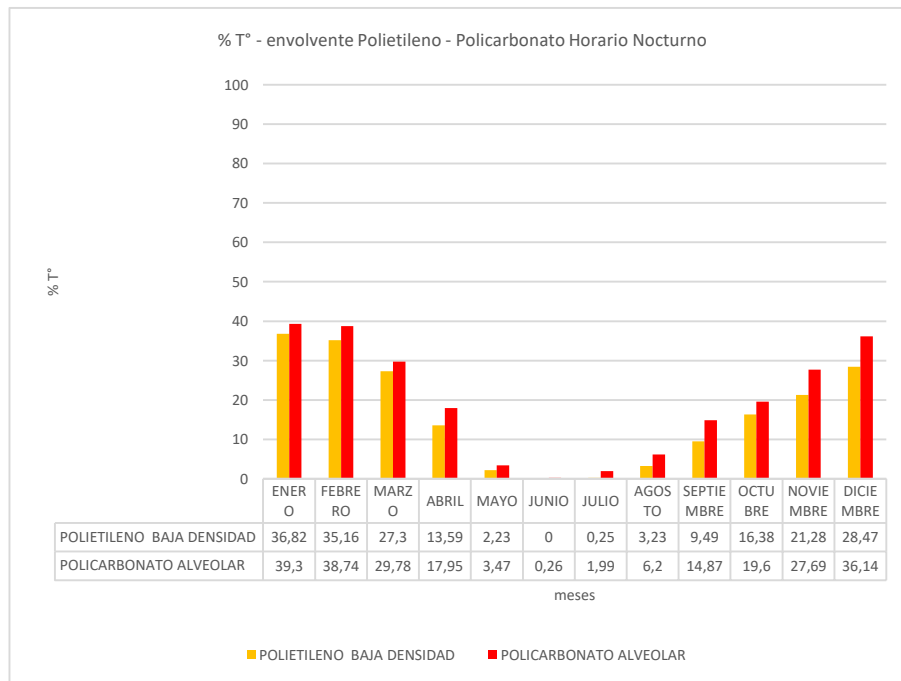
**Gráfico 3.22: Porcentaje de CHF obtenidos con envoltente de polietileno y policarbonato mensual en horario nocturno**



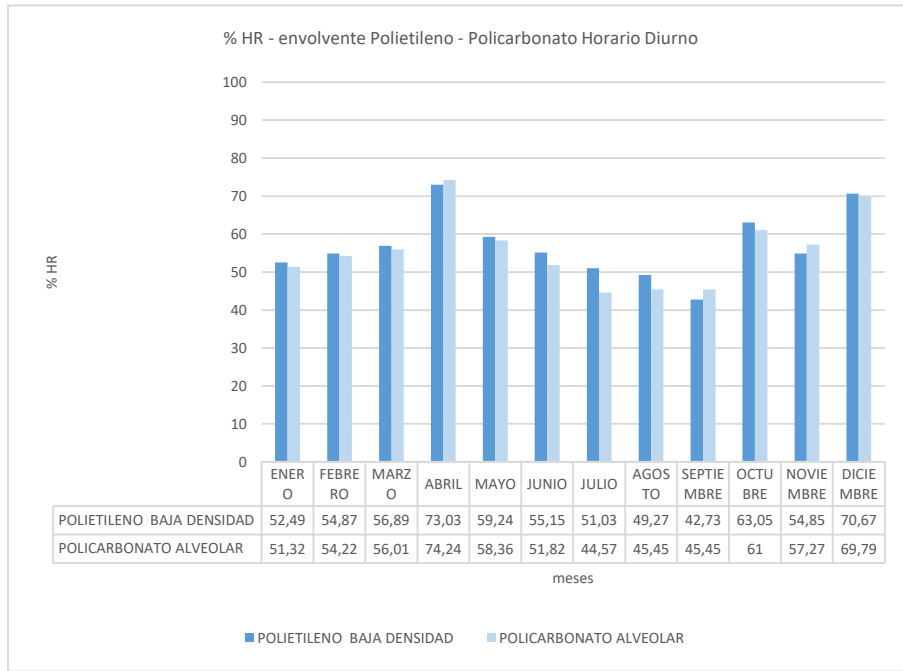
**Gráfico 3.23: Porcentaje de temperatura adecuada con envoltente de polietileno y policarbonato mensual en horario diurno**



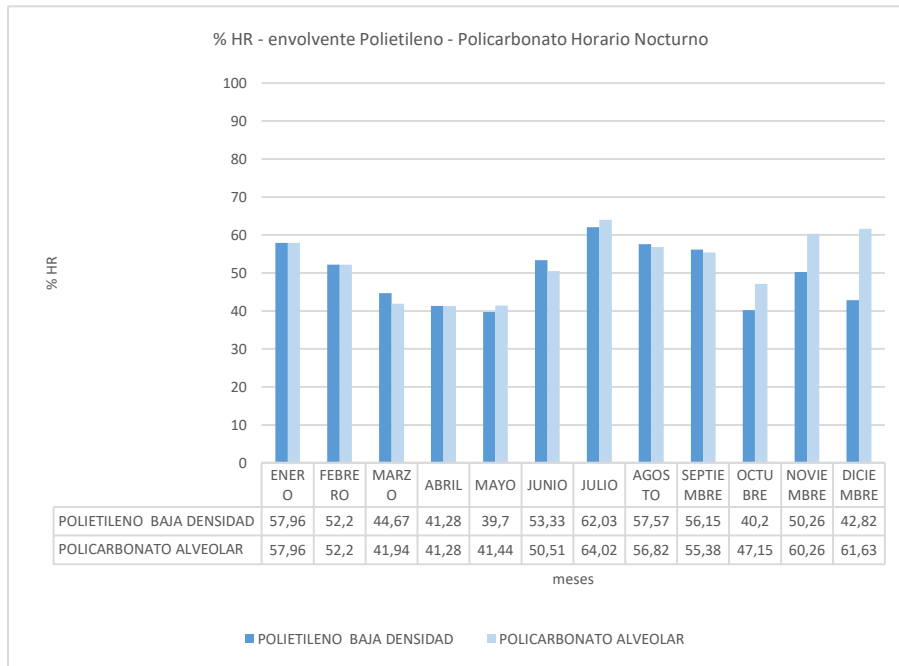
**Gráfico 3.24: Porcentaje de temperatura adecuada con envoltente de polietileno y policarbonato mensual en horario nocturno**



**Gráfico 3.25: Porcentaje de HR adecuada con envoltente de polietileno y policarbonato mensual en horario diurno**



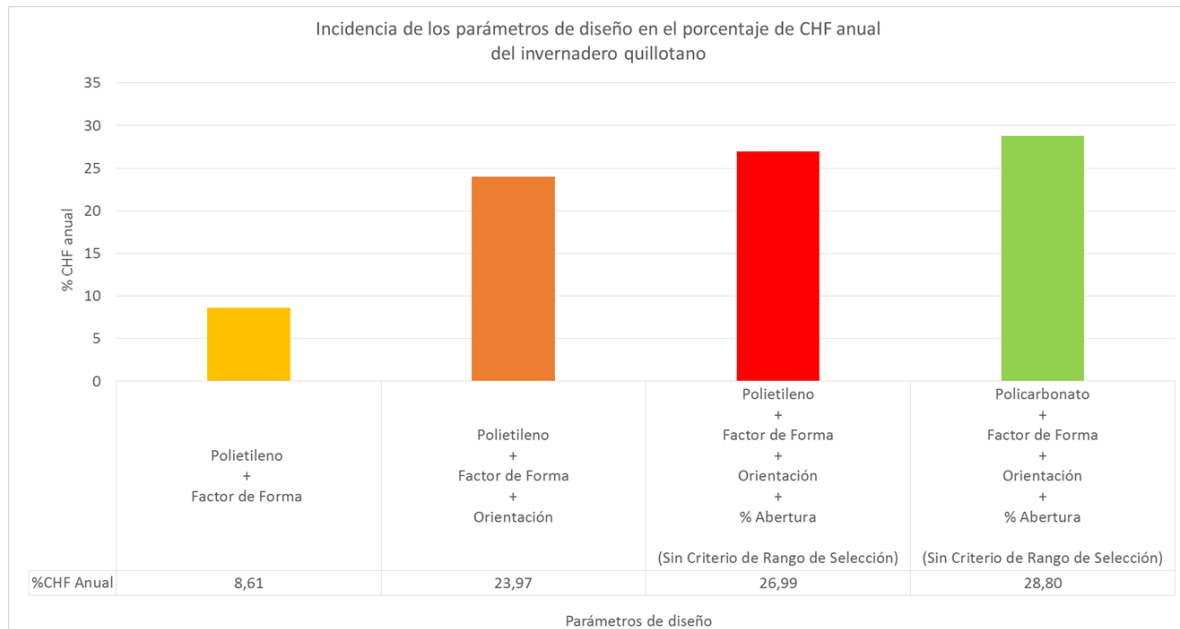
**Gráfico 3.26: Porcentaje de HR adecuada con envoltente de polietileno y policarbonato mensual en horario nocturno**



En general, al observar los resultados del porcentaje de CHF anual, se observa una mejora progresiva del comportamiento de CHF a medida que se van incorporando más parámetros de diseño. Sin embargo, 2 parámetros de diseño influyeron de forma más significativa en la mejora de CHF, en primer lugar la orientación, con un aumento de 15,36 % CHF, y en segundo lugar el parámetro de factor de forma con un aumento de 8,61% de CHF (ver gráfico 3.27).

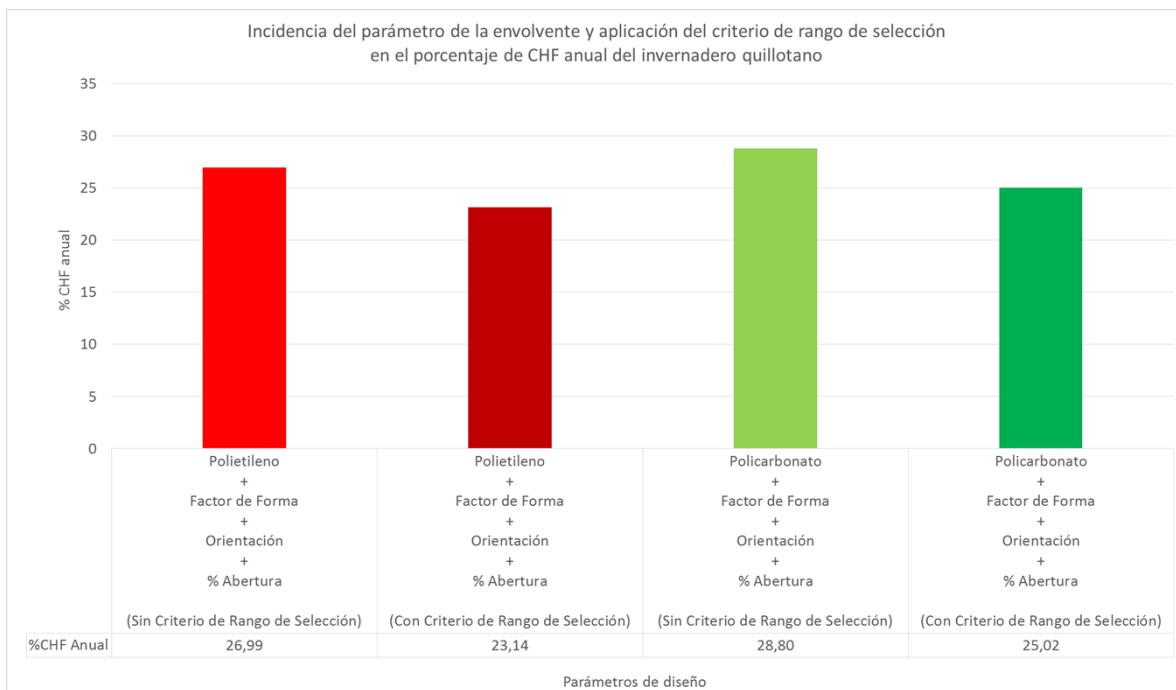
Al comparar el porcentaje de CHF anual obtenidos entre el invernadero con envoltente de polietileno de baja densidad y el invernadero con policarbonato alveolar, se observa que en este último se logra un leve aumento, cercano al 2%. Este aumento se debe principalmente a la capacidad del policarbonato alveolar de mejorar el comportamiento térmico del invernadero en los meses fríos y en horarios nocturnos, no así en los periodos calurosos, ya que se provoca un sobrecalentamiento en el interior (ver gráfico 3.27).

**Gráfico 3.27: Incidencia de los parámetros de diseño en el porcentaje de CHF anual del invernadero quillotano**



Al aplicar los criterios de rango de selección estipulados en la parametrización de porcentaje de aberturas, los porcentajes de CHF disminuyeron (ver gráfico 3.28). Pese a esta disminución de porcentaje de CHF, gracias a la aplicación del criterio de rango de selección, la maniobrabilidad de aberturas de ventanas del invernadero se simplificó sustancialmente (ver gráficos 3.12, 3.13, 3.17 y 3.18). Se debe recordar que el rango de selección propuesto se estableció con el fin de minimizar el trabajo de los operarios encargados de maniobrar las ventanas del invernadero, sin afectar en gran medida el CHF. Por otro lado, si se mecanizaran las aberturas de las ventanas de acuerdo a las condiciones higrotérmicas interiores y exteriores, dicho rango de selección no sería necesario y de este modo se obtendrían porcentajes de CHF más elevado (ver casos sin criterio de selección en gráfico 3.28).

**Gráfico 3.28: Incidencia del parámetro de la envolvente y aplicación del criterio de rango de selección en el porcentaje de CHF anual del invernadero quillotano**



## Capítulo 4. Conclusiones

### 4.1 Conclusiones Generales

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación, el desarrollo eficiente de sistemas acuapónicos en Concepción es factible, por lo que se ratifica la necesidad de abordar desde la arquitectura y a través de los parámetros de diseño pasivo la infraestructura que albergará dicho sistema. Los parámetros de diseño analizados, factor de forma, orientación, porcentaje de aberturas y envolvente, resultaron útiles para estudiar el comportamiento pasivo de un invernadero acuapónico semi industrial en la ciudad de Concepción.

Dado que en Chile no existen mayores antecedentes de investigación con una visión desde la arquitectura hacia la acuaponía, la presente tesis constituye un aporte al estado del arte de esta industria en Chile. En este aspecto, se logra contribuir de forma explorativa, el desarrollo de una metodología con el objetivo de determinar los lineamientos de diseño óptimos de los sistemas acuapónicos, de acuerdo a los distintos climas y zonas del país.

Si bien la hipótesis planteada en el presente estudio proponía un porcentaje de condiciones higrotérmicas favorables (CHF) en un 80% del tiempo, el resultado final no fue el esperado. Sin embargo, en términos generales, el porcentaje obtenido durante el horario diurno fue significativo (cercano al 50% en 7 meses del año). Por otro lado durante los meses más fríos, así como también durante el horario nocturno, el porcentaje de CHF resulta poco alentador. Este comportamiento se explica debido a que se trata de un invernadero frío, el cual no posee sistemas de calefacción nocturnas, sumado a las características climáticas de la ciudad de Concepción. El porcentaje de CHF diurno resulta satisfactorio especialmente ya que se trabajó en base a un rango higrotérmico amplio (18-32°C y 50-90% HR), con el fin de establecer las condiciones admisibles para la mayor variedad de cultivos posibles. Es importante señalar que en cambio si se seleccionan cultivos de forma más específica, cuyas necesidades higrotérmicas sean más cercanas a las condiciones climáticas de Concepción, y especialmente, si se establecen cultivos rotativos por temporadas de acuerdo a los meses fríos y cálidos, el porcentaje de CHF debería aumentar notoriamente.

El estudio de parametrización del factor de forma, si bien establece que los volúmenes al ser más compactos resultan ser más eficientes, esto no necesariamente se condice al incorporar las variables de orientación y porcentaje de abertura, por lo que es fundamental la integración de estos tres parámetros de diseño a modo de lograr un desempeño óptimo.



Respecto a las variables de orientación y porcentaje de aberturas, la locación geográfica juega un rol fundamental en cómo se comportaran dichos factores, ya que como se pudo observar en los resultados obtenidos, los vientos predominantes influyen directamente en el comportamiento térmico de los invernaderos. Para el caso de la ciudad de Concepción la orientación óptima de los invernaderos (que tengan forma rectangular), debe ser la disposición norte-sur en su eje longitudinal, gracias a que de esta forma se minimizan las pérdidas de calor en invierno debido al viento predominante del norte, y permite además la ventilación natural en verano gracias a los vientos predominantes del sur-oeste, así como también la captación de luz solar en las primeras horas de la mañana.

Respecto a la operación de ventanas cabe señalar que el sistema de manejo que tenga el invernadero, ya sea un sistema manual o uno mecánico, es preponderante a la hora de determinar el porcentaje de aberturas más adecuado. Como en el caso de análisis llevado a cabo en esta tesis se estipula que el manejo del invernadero no contemplaría sistemas mecánicos, la elección final del porcentaje de aberturas se vio afectada por dos factores: la limitación del horario (se maniobraban solo 2 veces al día las ventanas) y por el criterio de rango de selección de datos propuestos.

El mejoramiento propuesto de la envolvente no representó un aumento significativo del porcentaje de CHF anual en comparación a la envolvente básica (cercano al 2%). Teniendo en cuenta además que el polietileno de baja densidad es un material de bajo costo, es que en primera instancia podría ser una solución más conveniente; sin embargo es necesario evaluar detalladamente el ciclo de vida del material.

Por otro lado, la envolvente de policarbonato alveolar, pese a ser una solución de mayor costo económico, ésta presenta una mayor durabilidad ante las inclemencias del clima y mejor comportamiento térmico, convirtiéndolo en un buen candidato para ser utilizado como envolvente en invernaderos con sistemas activos que incorporen mecanismos tecnificados de abertura, calefacción y refrigeración.

Tal como se mencionó en los alcances y límites de la investigación, es importante recalcar la ausencia del volumen de agua al interior del invernadero en las simulaciones, así como también la ausencia de los cultivos. Estos elementos afectarían el comportamiento higrotérmico del invernadero, debido a la masa térmica del agua (agua del estanque de peces y camas de agua) y a la evapotranspiración de las plantas, razón por la cual se justifica la continuidad del estudio mediante simulaciones computacionales de fluidos dinámicos (CFD).

## 4.2 Propuesta de futuras investigaciones

De acuerdo a los resultados obtenidos, surgen interrogantes con respecto a la interacción del volumen de agua (masa térmica) del estanque de peces y de los cultivos de plantas (evapotranspiración). El poder determinar en qué medida intervienen dichos factores en el porcentaje de condiciones higrotérmicas favorables para un sistema acuapónico semi industrial en la ciudad en Concepción, justifica continuar esta línea investigativa.

Para estudiar tanto el comportamiento de la masa de agua como el de las plantas es necesaria la utilización de programas computacionales más sofisticados, específicamente el sc.Stream de Cradle (CFD). Este estudio puede ser efectuado teniendo el conocimiento de las propiedades del agua (calor específico y temperatura) y el comportamiento de las plantas de acuerdo a su evapotranspiración. La incorporación de estas variables al programa computacional se puede efectuar mediante la caracterización de un volumen al cual se le otorgan propiedades específicas, como lo son los m<sup>2</sup> de hoja de plantas por m<sup>3</sup> de aire, y el valor de la evapotranspiración en función del salto térmico de la hoja, la planta y el ambiente.

Ya que la simulación en CFD tiene un mayor espectro de manejo de variables y de especificidad, conlleva a que el estudio sea más fehaciente y específico. Es así, como de esta forma se podría establecer la viabilidad de cultivos específicos tanto de plantas como de peces (sistemas acuapónicos) en la ciudad de Concepción.

Cabe mencionar que la simulación en programas de tipo CFD nos permitiría efectuar más estudios relacionados a la acuaponía, tales como:

- Estudio de la configuración y distribución del sistema acuapónico al interior del invernadero.
- Estudio de la interacción de la masa térmica (volumen de agua del estanque de peces y camas de agua) con la cercanía de la envolvente e influencia con las condiciones higrotérmicas del invernadero.
- Estudio de comportamiento de ventilación de un sistema acuapónico mediante el análisis de distribución y porcentaje de ventanas abiertas.
- Parametrización de la proporción entre el volumen del invernadero y el volumen de agua que contiene el sistema acuapónico.
- Mapeo y detección de zonas adecuadas para cultivos al interior de invernaderos acuapónicos.

## Referencias bibliográficas

- Alpi, A. y Tognoni, F. 1984.** *Cultivo en invernaderos*. Madrid : Mundi-Prensa, 1984. pág. 254.
- Alvarado, P. y Urrutia, G. 2003.** *Invernaderos: materiales, tipos, zonas aptas, tendencias e innovaciones*. Santiago : Revista el Agroeconómico de la Fundación Chile, 2003. págs. 2-9.
- Baechler, L. y Alfaro, V. 1990.** *Localización y construcción de invernaderos*. 58. Santiago : INIA, 1990. págs. 32-42.
- Baille, A., y otros. 1985.** *Influence of thermal screen optical properties on heat losses and microclimate of greenhouses*. s.l. : Acta Horticulturae, 1985. págs. 111-117. Vol. 174.
- Bauerle , W.L. y Short, T.H. 1977.** *Conserving heat in glass greenhouses with surface-mounted air-inflated plastic*. Ohio : Agricultural Research and Development Center, 1977. pág. 101.
- Bianchi, A. 1989.** *Tipologie costruttive ed impiantistiche nelle colture protette*. s.l. : Colture Protette,, 1989. págs. 23-26. Vol. 7.
- Castilla, N. 2005.** *Invernaderos de plástico: tecnología y manejo*. Madrid : Mundi-Prensa, 2005.
- Ferare , J. y Goldberry, K.L. 1984.** *Environmental conditions created by plastic greenhouse covers*. s.l. : Acta Horticulturae, 1984. págs. 675-682. Vol. 148.
- Goddek, S., y otros. 2015.** *Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics*. 2015. pág. 20.
- IDAE. 2008.** *Ahorro y eficiencia energética en invernaderos*. Madrid : Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2008. págs. 12-13, 19-23, 33-34, 51, 53.
- INIA. 1993.** *Hortalizas bajo plástico para el sur de Chile*. Temuco : INIA, 1993. pág. 200.
- Instituto de Educacion Rural. 1996.** *Manuel cultivo en invernadero*. Santiago : IER, 1996. pág. 105.
- Kittas, C., y otros. 1996.** *Wind induced air exchange rates in a greenhouse tunnel with continuous side openings*. 1996. págs. 37-49.
- Moreira, A. y Borsdorf , A. 2014.** *Reservas de la Biosfera de Chile Laboratorios para la Sustentabilidad*. Santiago : GEOlibros, 2014. págs. 106-122.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. 2017.** *Panorama de la agricultura chilena*. Santiago : ODEPA, 2017. págs. 21,73.

**Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. 2014.** *Manual práctico para el cultivo de trucha arcoiris.* Guatemala : FAO, 2014. pág. 8.

—. **2014.** *Small-scale aquaponic food production.* Roma : FAO, 2014. págs. 11, 22-23, 34-75, 126.

**Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2002.** *El cultivo protegido en clima mediterráneo.* Roma : FAO, 2002. pág. 74.

**Palm, H., y otros. 2017.** *Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature.* s.l. : Springer, 2017. págs. 2-8.

**Papadakis, G., y otros. 1996.** *Measurement and analysis of air exchange rates in a greenhouse with continuous roof and side openings.* s.l. : Journal of Agricultural Engineering Research, 1996. págs. 219-228. Vol. 63.

**Papadopoulos , A.P y Hao, X. 1997.** *Effects of greenhouse covers on seedless cucumber growth, productivity, and energy use.* s.l. : Scientia Horticulturae, 1997. págs. 113-123. Vol. 68.

**Pirard , G., Deltour, J. y Nijskens, J. 1994.** *Gestion des écrans thermiques en serre.* 1994. págs. 11-22. Vol. 103.

**Robledo, D. 1981.** *Aplicación de los plásticos en la agricultura.* Madrid : s.n., 1981. pág. 186.

**Robledo, F. 1982.** *Consideraciones para la implementación y explotación agrícola de invernaderos de plástico.* Santiago : Serie Antumanpu, 1982. págs. 88-104. Vol. 8.

**Rosocha, CH. 1993.** *Serres plastique non chauffées utilisées tout au long de l'année en pépinière.* s.l. : Plasticulture, 1993. págs. 33-40. Vol. 93.

**Tesi, Romano. 2001.** *Medios de protección para la hortoflorofruticultura y el viverismo.* Madrid : Mundi-Prensa, 2001. págs. 126-130, 174.

**Timmons, M. 2002.** *Sistemas de recirculación para la acuicultura.* Santiago : Fundación Chile, 2002. págs. 120, 617.

**Urquijo, M. 2016.** *El mercado de los invernaderos en Chile.* Santiago : ICEX, 2016. pág. 42.

**Valera, D.L. 2006.** *Control climático en invernaderos.* Almería : Servicio de publicaciones de la Universidad de Almería, 2006. pág. 516.

## **ANEXO A**

Planillas de parametrización de factor de forma, orientación,  
porcentaje de aberturas y envolventes.

ESTUDIO DE FACTOR DE FORMA - SIN VENTILACIÓN NATURAL													
Factor	Relación	Superficie	Volumen	Largo	Ancho	Alto	Dimensiones	Temperatura		Humedad Relativa		Horas en CHF	% CHF
								Horas	%	Horas	%		
0,4	0,074	216	540	54	4	2,5	4 x 54	2023	23,09	4299	49,08	729	8,32
0,4	0,166	216	540	36	6	2,5	6 x 36	2081	23,76	4522	51,62	746	8,52
0,4	0,24	216	540	30	7,2	2,5	7,2 x 30	2093	23,89	4603	52,55	758	8,65
0,4	0,296	216	540	27	8	2,5	8 x 27	2106	24,04	4642	52,99	773	8,82
0,4	0,462	216	540	21,6	10	2,5	10 x 21,6	2114	24,13	4703	53,69	780	8,90
0,4	0,666	216	540	18	12	2,5	12 x 18	2124	24,25	4730	54,00	783	8,94
0,4	1	216	540	14,696	14,696	2,5	14,69 x 14,69	2119	24,19	4748	54,20	787	8,98
<b>0,4</b>	<b>1,5</b>	<b>216</b>	<b>540</b>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>2,5</b>	<b>18 x 12</b>	<b>2111</b>	<b>24,10</b>	<b>4742</b>	<b>54,13</b>	<b>795</b>	<b>9,08</b>
0,4	2,16	216	540	10	21,6	2,5	21,6 x 10	2107	24,05	4726	53,95	791	9,03
0,4	3,375	216	540	8	27	2,5	27 x 8	2084	23,79	4691	53,55	776	8,86
0,4	4,16	216	540	7,2	30	2,5	30 x 7,2	2066	23,58	4656	53,15	780	8,90
0,4	6	216	540	6	36	2,5	36 x 6	2049	23,39	4584	52,33	782	8,93
0,4	13,5	216	540	4	54	2,5	54 x 4	1993	22,75	4363	49,81	757	8,64
0,333	0,074	216	648	54	4	3	4 x 54	2005	22,89	4169	47,59	715	8,16
0,333	0,166	216	648	36	6	3	6 x 36	2042	23,31	4426	50,53	733	8,37
0,333	0,24	216	648	30	7,2	3	7,2 x 30	2067	23,60	4523	51,63	742	8,47
0,333	0,296	216	648	27	8	3	8 x 27	2081	23,76	4561	52,07	752	8,58
0,333	0,462	216	648	21,6	10	3	10 x 21,6	2101	23,98	4638	52,95	773	8,82
0,333	0,666	216	648	18	12	3	12 x 18	2101	23,98	4668	53,29	776	8,86
0,333	1	216	648	14,696	14,696	3	14,69 x 14,69	2094	23,90	4693	53,57	779	8,89
0,333	1,5	216	648	12	18	3	18 x 12	2090	23,86	4687	53,50	784	8,95
0,333	2,16	216	648	10	21,6	3	21,6 x 10	2074	23,68	4661	53,21	769	8,78
0,333	3,375	216	648	8	27	3	27 x 8	2055	23,46	4608	52,60	773	8,82
0,333	4,16	216	648	7,2	30	3	30 x 7,2	2034	23,22	4560	52,05	761	8,69
0,333	6	216	648	6	36	3	36 x 6	2033	23,21	4480	51,14	768	8,77
0,333	13,5	216	648	4	54	3	54 x 4	1991	22,73	4262	48,65	746	8,52
0,285	0,074	216	756	54	4	3,5	4 x 54	1977	22,57	4071	46,47	698	7,97
0,285	0,166	216	756	36	6	3,5	6 x 36	2034	23,22	4344	49,59	732	8,36
0,285	0,24	216	756	30	7,2	3,5	7,2 x 30	2046	23,36	4436	50,64	742	8,47
0,285	0,296	216	756	27	8	3,5	8 x 27	2051	23,41	4481	51,15	751	8,57
0,285	0,462	216	756	21,6	10	3,5	10 x 21,6	2073	23,66	4558	52,03	752	8,58
0,285	0,666	216	756	18	12	3,5	12 x 18	2083	23,78	4594	52,44	759	8,66
0,285	1	216	756	14,696	14,696	3,5	14,69 x 14,69	2085	23,80	4617	52,71	764	8,72
0,285	1,5	216	756	12	18	3,5	18 x 12	2076	23,70	4604	52,56	767	8,76
0,285	2,16	216	756	10	21,6	3,5	21,6 x 10	2059	23,50	4573	52,20	762	8,70
0,285	3,375	216	756	8	27	3,5	27 x 8	2035	23,23	4509	51,47	765	8,73
0,285	4,16	216	756	7,2	30	3,5	30 x 7,2	2042	23,31	4483	51,18	775	8,85
0,285	6	216	756	6	36	3,5	36 x 6	2017	23,03	4395	50,17	762	8,70
0,285	13,5	216	756	4	54	3,5	54 x 4	1964	22,42	4166	47,56	734	8,38
0,25	0,074	216	864	54	4	4	4 x 54	1967	22,45	3974	45,37	706	8,06
0,25	0,166	216	864	36	6	4	6 x 36	2008	22,92	4267	48,71	714	8,15
0,25	0,24	216	864	30	7,2	4	7,2 x 30	2027	23,14	4358	49,75	727	8,30
0,25	0,296	216	864	27	8	4	8 x 27	2035	23,23	4400	50,23	726	8,29
0,25	0,462	216	864	21,6	10	4	10 x 21,6	2043	23,32	4480	51,14	740	8,45
0,25	0,666	216	864	18	12	4	12 x 18	2060	23,52	4514	51,53	759	8,66
0,25	1	216	864	14,696	14,696	4	14,69 x 14,69	2066	23,58	4530	51,71	756	8,63
0,25	1,5	216	864	12	18	4	18 x 12	2057	23,48	4523	51,63	756	8,63
0,25	2,16	216	864	10	21,6	4	21,6 x 10	2048	23,38	4508	51,46	756	8,63
0,25	3,375	216	864	8	27	4	27 x 8	2035	23,23	4447	50,76	765	8,73
<b>0,25</b>	<b>4,16</b>	<b>216</b>	<b>864</b>	<b>7,2</b>	<b>30</b>	<b>4</b>	<b>30 x 7,2</b>	<b>2018</b>	<b>23,04</b>	<b>4402</b>	<b>50,25</b>	<b>754</b>	<b>8,61</b>
0,25	6	216	864	6	36	4	36 x 6	1991	22,73	4318	49,29	735	8,39
0,25	13,5	216	864	4	54	4	54 x 4	1958	22,35	4043	46,15	721	8,23

ESTUDIO ORIENTACIÓN - MCO - CON VENTILACION NATURAL									
FACTOR FORMA	DIMENSIONES	ORIENTACIÓN	%ABERTURA	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		Horas en CHF	% CHF
				Horas	%	Horas	%		
0,4	12X18X2,5	0° / 180°	10	3704	42,28	3940	44,98	1337	15,26
0,4	12X18X2,5	0° / 180°	20	3715	42,41	4195	47,89	1576	17,99
0,4	12X18X2,5	0° / 180°	30	3677	41,97	4371	49,90	1740	19,86
0,4	12X18X2,5	0° / 180°	40	3649	41,66	4497	51,34	1832	20,91
0,4	12X18X2,5	0° / 180°	50	3619	41,31	4577	52,25	1901	21,70
0,4	12X18X2,5	0° / 180°	60	3598	41,07	4648	53,06	1948	22,24
0,4	12X18X2,5	0° / 180°	70	3567	40,72	4744	54,16	2009	22,93
0,4	12X18X2,5	0° / 180°	80	3540	40,41	4799	54,78	2056	23,47
0,4	12X18X2,5	0° / 180°	90	3518	40,16	4821	55,03	2070	23,63
0,4	12X18X2,5	0° / 180°	100	3484	39,77	4850	55,37	2058	23,49
0,4	12X18X2,5	45° / 225°	10	3707	42,32	3943	45,01	1340	15,30
0,4	12X18X2,5	45° / 225°	20	3709	42,34	4177	47,68	1572	17,95
0,4	12X18X2,5	45° / 225°	30	3667	41,86	4363	49,81	1741	19,87
0,4	12X18X2,5	45° / 225°	40	3651	41,68	4482	51,16	1851	21,13
0,4	12X18X2,5	45° / 225°	50	3623	41,36	4590	52,40	1914	21,85
0,4	12X18X2,5	45° / 225°	60	3588	40,96	4658	53,17	1964	22,42
0,4	12X18X2,5	45° / 225°	70	3583	40,90	4724	53,93	2010	22,95
0,4	12X18X2,5	45° / 225°	80	3548	40,50	4790	54,68	2056	23,47
0,4	12X18X2,5	45° / 225°	90	3521	40,19	4831	55,15	2075	23,69
0,4	12X18X2,5	45° / 225°	100	3492	39,86	4861	55,49	2084	23,79
0,4	12X18X2,5	90° / 270°	10	3716	42,42	3912	44,66	1323	15,10
0,4	12X18X2,5	90° / 270°	20	3716	42,42	4171	47,61	1568	17,90
0,4	12X18X2,5	90° / 270°	30	3691	42,13	4338	49,52	1720	19,63
0,4	12X18X2,5	90° / 270°	40	3665	41,84	4460	50,91	1840	21,00
0,4	12X18X2,5	90° / 270°	50	3634	41,48	4566	52,12	1912	21,83
0,4	12X18X2,5	90° / 270°	60	3629	41,43	4638	52,95	1977	22,57
0,4	12X18X2,5	90° / 270°	70	3586	40,94	4729	53,98	2014	22,99
0,4	12X18X2,5	90° / 270°	80	3555	40,58	4768	54,43	2057	23,48
0,4	12X18X2,5	90° / 270°	90	3531	40,31	4812	54,93	2087	23,82
<b>0,4</b>	<b>12X18X2,5</b>	<b>90° / 270°</b>	<b>100</b>	<b>3511</b>	<b>40,08</b>	<b>4844</b>	<b>55,30</b>	<b>2087</b>	<b>23,82</b>
0,4	12X18X2,5	135° / 315°	10	3694	42,17	3909	44,62	1304	14,89
0,4	12X18X2,5	135° / 315°	20	3714	42,40	4125	47,09	1524	17,40
0,4	12X18X2,5	135° / 315°	30	3691	42,13	4323	49,35	1703	19,44
0,4	12X18X2,5	135° / 315°	40	3660	41,78	4424	50,50	1799	20,54
0,4	12X18X2,5	135° / 315°	50	3632	41,46	4541	51,84	1874	21,39
0,4	12X18X2,5	135° / 315°	60	3609	41,20	4599	52,50	1915	21,86
0,4	12X18X2,5	135° / 315°	70	3588	40,96	4646	53,04	1956	22,33
0,4	12X18X2,5	135° / 315°	80	3562	40,66	4744	54,16	2019	23,05
0,4	12X18X2,5	135° / 315°	90	3542	40,43	4781	54,58	2051	23,41
0,4	12X18X2,5	135° / 315°	100	3508	40,05	4820	55,02	2059	23,50

ESTUDIO ORIENTACIÓN - CASO QUILLOTANO - CON VENTILACION NATURAL									
FACTOR FORMA	DIMENSIONES	ORIENTACIÓN	%ABERTURA	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		Horas en CHF	% CHF
				Horas	%	Horas	%		
0,25	7,2X30X4	0° / 180°	10	3514	40,11	4169	47,59	1443	16,47
0,25	7,2X30X4	0° / 180°	20	3487	39,81	4420	50,46	1686	19,25
0,25	7,2X30X4	0° / 180°	30	3455	39,44	4577	52,25	1827	20,86
0,25	7,2X30X4	0° / 180°	40	3413	38,96	4699	53,64	1913	21,84
0,25	7,2X30X4	0° / 180°	50	3369	38,46	4790	54,68	1973	22,52
0,25	7,2X30X4	0° / 180°	60	3333	38,05	4869	55,58	1994	22,76
0,25	7,2X30X4	0° / 180°	70	3315	37,84	4913	56,08	2043	23,32
0,25	7,2X30X4	0° / 180°	80	3291	37,57	4949	56,50	2036	23,24
0,25	7,2X30X4	0° / 180°	90	3261	37,23	4958	56,60	2035	23,23
0,25	7,2X30X4	0° / 180°	100	3239	36,97	5015	57,25	2042	23,31
0,25	7,2X30X4	45° / 225°	10	3513	40,10	4136	47,21	1446	16,51
0,25	7,2X30X4	45° / 225°	20	3484	39,77	4388	50,09	1692	19,32
0,25	7,2X30X4	45° / 225°	30	3444	39,32	4569	52,16	1837	20,97
0,25	7,2X30X4	45° / 225°	40	3406	38,88	4686	53,49	1929	22,02
0,25	7,2X30X4	45° / 225°	50	3364	38,40	4784	54,61	1998	22,81
0,25	7,2X30X4	45° / 225°	60	3334	38,06	4842	55,27	2032	23,20
0,25	7,2X30X4	45° / 225°	70	3302	37,69	4899	55,92	2061	23,53
0,25	7,2X30X4	45° / 225°	80	3277	37,41	4937	56,36	2075	23,69
0,25	7,2X30X4	45° / 225°	90	3258	37,19	4951	56,52	2069	23,62
0,25	7,2X30X4	45° / 225°	100	3234	36,92	4992	56,99	2073	23,66
0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	3532	40,32	4125	47,09	1421	16,22
0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	3504	40,00	4375	49,94	1656	18,90
0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	3481	39,74	4561	52,07	1828	20,87
0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	3448	39,36	4681	53,44	1924	21,96
0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	3408	38,90	4770	54,45	1982	22,63
0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	3385	38,64	4832	55,16	2036	23,24
0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	3365	38,41	4848	55,34	2049	23,39
0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	3341	38,14	4886	55,78	2062	23,54
0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	3319	37,89	4954	56,55	2088	23,84
<b>0,25</b>	<b>7,2X30X4</b>	<b>90° / 270°</b>	<b>100</b>	<b>3294</b>	<b>37,60</b>	<b>4986</b>	<b>56,92</b>	<b>2100</b>	<b>23,97</b>
0,25	7,2X30X4	135° / 315°	10	3506	40,02	4096	46,76	1368	15,62
0,25	7,2X30X4	135° / 315°	20	3478	39,70	4358	49,75	1624	18,54
0,25	7,2X30X4	135° / 315°	30	3447	39,35	4518	51,58	1768	20,18
0,25	7,2X30X4	135° / 315°	40	3416	39,00	4621	52,75	1847	21,08
0,25	7,2X30X4	135° / 315°	50	3397	38,78	4720	53,88	1929	22,02
0,25	7,2X30X4	135° / 315°	60	3368	38,45	4778	54,54	1960	22,37
0,25	7,2X30X4	135° / 315°	70	3337	38,09	4830	55,14	1994	22,76
0,25	7,2X30X4	135° / 315°	80	3315	37,84	4896	55,89	2028	23,15
0,25	7,2X30X4	135° / 315°	90	3285	37,50	4946	56,46	2038	23,26
0,25	7,2X30X4	135° / 315	100	3262	37,24	4985	56,91	2048	23,38



ESTUDIO DE ABERTURA - CASO QUILLOTANO - ENVOLVENTE POLIETILENO BAJA DENSIDAD / LUN A DOM - HORARIO DIURNO 8:00 A 18:00 HRS														
MES	FECHA		HORAS TOTALES	HORAS DIA	FACTOR FORMA	DIMENSIONES	ORIENTACIÓN	%ABERTURA	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		Horas en CHF	% CHF
	INICIO	TÉRMINO							Horas	%	Horas	%		
Enero	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	62	18,18	34	9,97	29	8,50
	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	310	90,91	227	66,57	112	32,84
	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	310	90,91	139	40,76	134	39,30
	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	310	90,91	161	47,21	156	45,75
	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	310	90,91	169	49,56	164	48,09
	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	310	90,91	179	52,49	174	51,03
	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	310	90,91	184	53,96	179	52,49
	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	310	90,91	182	53,37	177	51,91
	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	310	90,91	185	54,25	180	52,79
	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	310	90,91	190	55,72	185	54,25
Febrero	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	310	90,91	191	56,01	186	54,55
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	51	16,56	39	12,66	12	3,90
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	252	81,82	130	42,21	103	33,44
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	252	81,82	147	47,73	120	38,96
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	252	81,82	160	51,95	133	43,18
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	252	81,82	167	54,22	140	45,45
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	252	81,82	169	54,87	142	46,10
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	252	81,82	178	57,79	151	49,03
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	252	81,82	178	57,79	151	49,03
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	252	81,82	176	57,14	149	48,38
Marzo	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	252	81,82	179	58,12	152	49,35
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	252	81,82	185	60,06	158	51,30
	01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	95	27,86	57	16,72	29	8,50
	01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	283	82,99	127	37,24	98	28,74
	01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	284	83,28	162	47,51	133	39,00
	01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	284	83,28	178	52,20	149	43,70
	01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	284	83,28	190	55,72	161	47,21
	01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	284	83,28	194	56,89	165	48,39
	01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	284	83,28	196	57,48	167	48,97
	01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	283	82,99	202	59,24	172	50,44
01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	283	82,99	205	60,12	175	51,32	
01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	283	82,99	209	61,29	179	52,49	
01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	283	82,99	213	62,46	183	53,67	

ESTUDIO DE ABERTURA - CASO QUILLOTANO - ENVOLVENTE POLIETILENO BAJA DENSIDAD / LUN A DOM - HORARIO DIURNO 8:00 A 18:00 HRS														
MES	FECHA		HORAS TOTALES	HORAS DIA	FACTOR FORMA	DIMENSIONES	ORIENTACIÓN	%ABERTURA	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		Horas en CHF	% CHF
	INICIO	TÉRMINO							Horas	%	Horas	%		
Abril	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	134	40,61	73	22,12	33	10,00
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	262	79,39	206	62,42	167	50,61
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	262	79,39	228	69,09	189	57,27
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	262	79,39	241	73,03	201	60,91
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	259	78,48	250	75,76	207	62,73
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	257	77,88	260	78,79	215	65,15
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	257	77,88	262	79,39	217	65,76
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	255	77,27	264	80,00	217	65,76
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	253	76,67	266	80,61	217	65,76
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	253	76,67	270	81,82	219	66,36
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	249	75,45	268	81,21	215	65,15
	Mayo	01-may	31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	136	39,88	169	49,56	37
01-may		31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	162	47,51	202	59,24	69	20,23
01-may		31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	162	47,51	211	61,88	78	22,87
01-may		31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	161	47,21	210	61,58	77	22,58
01-may		31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	160	46,92	216	63,34	83	24,34
01-may		31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	159	46,63	217	63,64	83	24,34
01-may		31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	158	46,33	221	64,81	87	25,51
01-may		31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	157	46,04	224	65,69	88	25,81
01-may		31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	155	45,45	223	65,40	86	25,22
01-may		31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	155	45,45	224	65,69	89	26,10
01-may		31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	154	45,16	224	65,69	87	25,51
Junio		01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	139	42,12	182	55,15	38
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	136	41,21	184	55,76	41	12,42
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	134	40,61	186	56,36	45	13,64
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	133	40,30	187	56,67	46	13,94
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	129	39,09	191	57,88	49	14,85
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	129	39,09	192	58,18	50	15,15
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	127	38,48	193	58,48	51	15,45
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	127	38,48	192	58,18	51	15,45
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	127	38,48	192	58,18	51	15,45
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	125	37,88	196	59,39	53	16,06
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	124	37,58	195	59,09	53	16,06

ESTUDIO DE ABERTURA - CASO QUILLOTANO - ENVOLVENTE POLIETILENO BAJA DENSIDAD / LUN A DOM - HORARIO DIURNO 8:00 A 18:00 HRS														
MES	FECHA		HORAS TOTALES	HORAS DIA	FACTOR FORMA	DIMENSIONES	ORIENTACIÓN	%ABERTURA	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		Horas en CHF	% CHF
	INICIO	TÉRMINO							Horas	%	Horas	%		
Julio	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	133	39,00	174	51,03	14	4,11
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	138	40,47	177	51,91	16	4,69
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	136	39,88	187	54,84	24	7,04
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	128	37,54	188	55,13	24	7,04
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	129	37,83	191	56,01	26	7,62
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	128	37,54	193	56,60	30	8,80
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	122	35,78	198	58,06	33	9,68
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	115	33,72	196	57,48	29	8,50
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	118	34,60	201	58,94	34	9,97
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	112	32,84	205	60,12	33	9,68
Agosto	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	105	30,79	208	61,00	31	9,09
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	159	46,63	147	43,11	33	9,68
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	198	58,06	168	49,27	54	15,84
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	192	56,30	177	51,91	61	17,89
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	190	55,72	184	53,96	67	19,65
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	184	53,96	187	54,84	66	19,35
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	174	51,03	189	55,43	66	19,35
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	169	49,56	193	56,60	66	19,35
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	170	49,85	192	56,30	66	19,35
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	165	48,39	193	56,60	66	19,35
Septiembre	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	158	46,33	199	58,36	65	19,06
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	155	45,45	199	58,36	65	19,06
	01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	136	41,21	92	27,88	29	8,79
	01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	250	75,76	128	38,79	65	19,70
	01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	235	71,21	141	42,73	74	22,42
	01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	224	67,88	160	48,48	86	26,06
	01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	211	63,94	173	52,42	92	27,88
	01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	196	59,39	176	53,33	90	27,27
	01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	187	56,67	182	55,15	92	27,88
	01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	183	55,45	185	56,06	95	28,79
01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	174	52,73	190	57,58	93	28,18	
01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	175	53,03	194	58,79	92	27,88	
01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	170	51,52	196	59,39	92	27,88	

ESTUDIO DE ABERTURA - CASO QUILLOTANO - ENVOLVENTE POLIETILENO BAJA DENSIDAD / LUN A DOM - HORARIO DIURNO 8:00 A 18:00 HRS														
MES	FECHA		HORAS TOTALES	HORAS DIA	FACTOR FORMA	DIMENSIONES	ORIENTACIÓN	%ABERTURA	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		Horas en CHF	% CHF
	INICIO	TÉRMINO							Horas	%	Horas	%		
Octubre	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	98	28,74	85	24,93	35	10,26
	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	281	82,40	135	39,59	86	25,22
	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	281	82,40	181	53,08	132	38,71
	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	281	82,40	215	63,05	164	48,09
	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	276	80,94	230	67,45	178	52,20
	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	266	78,01	238	69,79	177	51,91
	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	263	77,13	249	73,02	187	54,84
	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	260	76,25	251	73,61	186	54,55
	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	255	74,78	253	74,19	183	53,67
	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	250	73,31	257	75,37	186	54,55
Noviembre	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	247	72,43	261	76,54	186	54,55
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	109	33,03	45	13,64	29	8,79
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	296	89,70	88	26,67	72	21,82
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	297	90,00	117	35,45	101	30,61
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	298	90,30	141	42,73	124	37,58
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	300	90,91	156	47,27	139	42,12
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	299	90,61	171	51,82	154	46,67
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	298	90,30	181	54,85	163	49,39
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	295	89,39	189	57,27	170	51,52
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	293	88,79	195	59,09	174	52,73
Diciembre	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	290	87,88	199	60,30	175	53,03
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	290	87,88	205	62,12	183	55,45
	01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	68	19,94	24	7,04	18	5,28
	01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	310	90,91	128	37,54	122	35,78
	01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	310	90,91	161	47,21	155	45,45
	01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	311	91,20	195	57,18	189	55,43
	01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	310	90,91	212	62,17	206	60,41
	01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	311	91,20	231	67,74	225	65,98
	01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	311	91,20	237	69,50	231	67,74
	01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	311	91,20	241	70,67	235	68,91
01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	311	91,20	249	73,02	243	71,26	
01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	310	90,91	252	73,90	245	71,85	
01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	310	90,91	256	75,07	249	73,02	

ESTUDIO DE ABERTURA - CASO QUILLOTANO - ENVOLVENTE POLIETILENO BAJA DENSIDAD / LUN A DOM - HORARIO NOCTURNO 19:00 A 7:00 HRS															
MES	FECHA		HORAS TOTALES	HORAS NOCHE	FACTOR FORMA	DIMENSIONES	ORIENTACIÓN	%ABERTURA	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		Horas en CHF	% CHF	
	INICIO	TÉRMINO							Horas	%	Horas	%			
Enero	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	124	30,85	162	40,30	80	19,90	
	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	148	36,82	233	57,96	114	28,36	
	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	146	36,32	242	60,20	119	29,60	
	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	148	36,82	241	59,95	122	30,35	
	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	146	36,32	246	61,19	125	31,09	
	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	147	36,57	245	60,95	125	31,09	
	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	146	36,32	246	61,19	127	31,59	
	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	144	35,82	247	61,44	126	31,34	
	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	146	36,32	246	61,19	126	31,34	
	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	145	36,07	248	61,69	126	31,34	
Febrero	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	145	36,07	248	61,69	126	31,34	
	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	114	31,32	143	39,29	75	20,60	
	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	128	35,16	190	52,20	94	25,82	
	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	126	34,62	194	53,30	95	26,10	
	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	125	34,34	196	53,85	98	26,92	
	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	125	34,34	199	54,67	99	27,20	
	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	124	34,07	200	54,95	99	27,20	
	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	125	34,34	201	55,22	100	27,47	
	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	125	34,34	203	55,77	104	28,57	
	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	126	34,62	203	55,77	105	28,85	
Marzo	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	127	34,89	202	55,49	105	28,85	
	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	126	34,62	205	56,32	106	29,12	
	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	110	27,30	180	44,67	72	17,87	
	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	114	28,29	198	49,13	101	25,06	
	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	113	28,04	193	47,89	103	25,56	
	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	111	27,54	193	47,89	99	24,57	
	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	112	27,79	194	48,14	101	25,06	
	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	112	27,79	196	48,64	102	25,31	
	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	111	27,54	199	49,38	103	25,56	
	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	111	27,54	200	49,63	103	25,56	
Marzo	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	111	27,54	202	50,12	103	25,56	
	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	112	27,79	206	51,12	104	25,81	
	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	111	27,54	208	51,61	103	25,56	



ESTUDIO DE ABERTURA - CASO QUILLOTANO - ENVOLVENTE POLIETILENO BAJA DENSIDAD / LUN A DOM - HORARIO NOCTURNO 19:00 A 7:00 HRS														
MES	FECHA		HORAS TOTALES	HORAS NOCHE	FACTOR FORMA	DIMENSIONES	ORIENTACIÓN	%ABERTURA	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		Horas en CHF	% CHF
	INICIO	TÉRMINO							Horas	%	Horas	%		
Abril	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	53	13,59	161	41,28	40	10,26
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	50	12,82	169	43,33	48	12,31
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	50	12,82	174	44,62	49	12,56
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	49	12,56	186	47,69	48	12,31
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	48	12,31	193	49,49	46	11,79
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	47	12,05	191	48,97	43	11,03
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	47	12,05	197	50,51	43	11,03
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	47	12,05	203	52,05	42	10,77
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	47	12,05	207	53,08	40	10,26
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	47	12,05	206	52,82	39	10,00
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	45	11,54	198	50,77	36	9,23
	01-may	31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	9	2,23	160	39,70	8	1,99
Mayo	01-may	31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	7	1,74	159	39,45	6	1,49
	01-may	31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	7	1,74	161	39,95	6	1,49
	01-may	31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	7	1,74	164	40,69	6	1,49
	01-may	31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	7	1,74	165	40,94	6	1,49
	01-may	31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	7	1,74	162	40,20	6	1,49
	01-may	31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	7	1,74	162	40,20	6	1,49
	01-may	31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	7	1,74	164	40,69	6	1,49
	01-may	31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	7	1,74	164	40,69	6	1,49
	01-may	31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	7	1,74	164	40,69	6	1,49
	01-may	31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	7	1,74	164	40,69	6	1,49
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	0	0,00	208	53,33	0	0,00
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	0	0,00	208	53,33	0	0,00
Junio	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	0	0,00	208	53,33	0	0,00
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	0	0,00	208	53,33	0	0,00
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	0	0,00	208	53,33	0	0,00
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	0	0,00	208	53,33	0	0,00
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	0	0,00	208	53,33	0	0,00
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	0	0,00	208	53,33	0	0,00
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	0	0,00	208	53,33	0	0,00
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	0	0,00	208	53,33	0	0,00
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	0	0,00	208	53,33	0	0,00
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	0	0,00	208	53,33	0	0,00
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	0	0,00	208	53,33	0	0,00
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	0	0,00	208	53,33	0	0,00

ESTUDIO DE ABERTURA - CASO QUILLOTANO - ENVOLVENTE POLIETILENO BAJA DENSIDAD / LUN A DOM - HORARIO NOCTURNO 19:00 A 7:00 HRS															
MES	FECHA		HORAS TOTALES	HORAS NOCHE	FACTOR FORMA	DIMENSIONES	ORIENTACIÓN	%ABERTURA	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		Horas en CHF	% CHF	
	INICIO	TÉRMINO							Horas	%	Horas	%			
Julio	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	1	0,25	250	62,03	1	0,25	
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	1	0,25	250	62,03	1	0,25	
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	1	0,25	250	62,03	1	0,25	
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	1	0,25	250	62,03	1	0,25	
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	1	0,25	250	62,03	1	0,25	
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	1	0,25	250	62,03	1	0,25	
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	1	0,25	250	62,03	1	0,25	
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	1	0,25	250	62,03	1	0,25	
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	1	0,25	250	62,03	1	0,25	
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	1	0,25	250	62,03	1	0,25	
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	1	0,25	250	62,03	1	0,25	
	01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	13	3,23	232	57,57	6	1,49	
	01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	13	3,23	233	57,82	7	1,74	
	01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	14	3,47	234	58,06	8	1,99	
01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	13	3,23	237	58,81	5	1,24		
Agosto	01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	9	2,23	245	60,79	3	0,74	
	01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	9	2,23	245	60,79	3	0,74	
	01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	9	2,23	249	61,79	3	0,74	
	01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	9	2,23	247	61,29	3	0,74	
	01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	9	2,23	250	62,03	3	0,74	
	01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	9	2,23	249	61,79	2	0,50	
	01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	9	2,23	248	61,54	2	0,50	
	01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	37	9,49	219	56,15	13	3,33	
	01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	36	9,23	224	57,44	18	4,62	
	01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	35	8,97	224	57,44	18	4,62	
	01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	30	7,69	236	60,51	15	3,85	
	01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	29	7,44	242	62,05	15	3,85	
	01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	29	7,44	252	64,62	14	3,59	
	01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	28	7,18	252	64,62	13	3,33	
01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	28	7,18	249	63,85	9	2,31		
01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	28	7,18	253	64,87	8	2,05		
01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	25	6,41	254	65,13	5	1,28		
01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	25	6,41	256	65,64	5	1,28		
Septiembre															

ESTUDIO DE ABERTURA - CASO QUILLOTANO - ENVOLVENTE POLIETILENO BAJA DENSIDAD / LUN A DOM - HORARIO NOCTURNO 19:00 A 7:00 HRS														
MES	FECHA		HORAS TOTALES	HORAS NOCHE	FACTOR FORMA	DIMENSIONES	ORIENTACIÓN	%ABERTURA	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		Horas en CHF	% CHF
	INICIO	TÉRMINO							Horas	%	Horas	%		
Octubre	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	66	16,38	40,20	31	7,69	
	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	67	16,63	42,68	46	11,41	
	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	64	15,88	45,91	46	11,41	
	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	64	15,88	46,65	49	12,16	
	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	65	16,13	46,15	50	12,41	
	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	62	15,38	46,15	43	10,67	
	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	63	15,63	45,66	42	10,42	
	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	64	15,88	47,64	45	11,17	
	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	65	16,13	48,64	44	10,92	
	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	65	16,13	51,61	44	10,92	
Noviembre	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	65	16,13	52,85	44	10,92	
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	83	21,28	50,26	48	12,31	
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	87	22,31	58,97	56	14,36	
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	86	22,05	61,54	60	15,38	
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	87	22,31	61,54	66	16,92	
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	87	22,31	63,08	67	17,18	
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	87	22,31	64,10	68	17,44	
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	87	22,31	65,38	68	17,44	
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	87	22,31	65,64	68	17,44	
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	87	22,31	64,87	66	16,92	
Diciembre	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	87	22,31	65,13	66	16,92	
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	87	22,31	64,87	65	16,67	
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	115	28,47	42,82	78	19,31	
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	133	32,92	62,38	107	26,49	
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	133	32,92	64,36	113	27,97	
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	133	32,92	65,84	116	28,71	
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	132	32,67	65,84	118	29,21	
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	132	32,67	65,84	119	29,46	
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	131	32,43	66,58	118	29,21	
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	131	32,43	67,57	121	29,95	
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	131	32,43	67,33	121	29,95	
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	133	32,92	67,08	122	30,20	
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	133	32,92	67,08	122	30,20	



ESTUDIO DE ABERTURA - CASO QUILLOTANO - ENVOLVENTE POLICARBONATO ALVEOLAR / LUN A DOM - HORARIO DIURNO 8:00 A 18:00 HRS															
MES	FECHA		HORAS TOTALES	HORAS DIA	FACTOR FORMA	DIMENSIONES	ORIENTACIÓN	%ABERTURA	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		Horas en CHF	% CHF	
	INICIO	TÉRMINO							Horas	%	Horas	%			
Enero	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	53	15,54	35	10,26	30	8,80	
	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	310	90,91	117	34,31	112	32,84	
	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	310	90,91	139	40,76	134	39,30	
	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	310	90,91	162	47,51	157	46,04	
	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	310	90,91	172	50,44	167	48,97	
	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	310	90,91	175	51,32	170	49,85	
	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	310	90,91	180	52,79	175	51,32	
	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	310	90,91	186	54,55	181	53,08	
	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	310	90,91	188	55,13	183	53,67	
	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	310	90,91	187	54,84	182	53,37	
Febrero	01-ene	31-ene	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	310	90,91	191	56,01	186	54,55	
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	42	13,64	39	12,66	13	4,22	
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	255	82,79	124	40,26	100	32,47	
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	255	82,79	146	47,40	122	39,61	
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	255	82,79	159	51,62	135	43,83	
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	255	82,79	167	54,22	143	46,43	
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	255	82,79	172	55,84	148	48,05	
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	255	82,79	176	57,14	152	49,35	
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	255	82,79	174	56,49	150	48,70	
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	255	82,79	180	58,44	156	50,65	
Marzo	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	255	82,79	179	58,12	155	50,32	
	01-feb	28-feb	672	308	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	255	82,79	183	59,42	159	51,62	
	01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	70	20,53	50	14,66	18	5,28	
	01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	279	81,82	125	36,66	93	27,27	
	01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	280	82,11	161	47,21	129	37,83	
	01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	280	82,11	179	52,49	147	43,11	
	01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	279	81,82	191	56,01	159	46,63	
	01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	279	81,82	190	55,72	157	46,04	
	01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	278	81,52	200	58,65	166	48,68	
	01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	278	81,52	203	59,53	169	49,56	
01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	278	81,52	207	60,70	173	50,73		
01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	278	81,52	208	61,00	174	51,03		
01-mar	31-mar	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	277	81,23	214	62,76	179	52,49		

ESTUDIO DE ABERTURA - CASO QUILLOTANO - ENVOLVENTE POLICARBONATO ALVEOLAR / LUN A DOM - HORARIO DIURNO 8:00 A 18:00 HRS															
MES	FECHA		HORAS TOTALES	HORAS DIA	FACTOR FORMA	DIMENSIONES	ORIENTACIÓN	%ABERTURA	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		Horas en CHF	% CHF	
	INICIO	TÉRMINO							Horas	%	Horas	%			
Abril	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	99	30,00	61	18,48	18	5,45	
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	261	79,09	207	62,73	166	50,30	
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	261	79,09	231	70,00	190	57,58	
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	260	78,79	245	74,24	203	61,52	
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	258	78,18	255	77,27	211	63,94	
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	256	77,58	265	80,30	220	66,67	
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	255	77,27	268	81,21	223	67,58	
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	251	76,06	270	81,82	220	66,67	
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	249	75,45	273	82,73	219	66,36	
	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	245	74,24	276	83,64	220	66,67	
Mayo	01-abr	30-abr	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	239	72,42	275	83,33	214	64,85	
	01-may	31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	143	41,94	157	46,04	50	14,66	
	01-may	31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	193	56,60	199	58,36	94	27,57	
	01-may	31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	192	56,30	207	60,70	101	29,62	
	01-may	31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	191	56,01	208	61,00	102	29,91	
	01-may	31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	190	55,72	212	62,17	106	31,09	
	01-may	31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	187	54,84	214	62,76	106	31,09	
	01-may	31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	186	54,55	217	63,64	108	31,67	
	01-may	31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	186	54,55	217	63,64	108	31,67	
	01-may	31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	185	54,25	220	64,52	111	32,55	
Junio	01-may	31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	184	53,96	220	64,52	111	32,55	
	01-may	31-may	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	182	53,37	221	64,81	110	32,26	
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	155	46,97	158	47,88	35	10,61	
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	156	47,27	171	51,82	47	14,24	
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	155	46,97	172	52,12	52	15,76	
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	149	45,15	178	53,94	55	16,67	
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	140	42,42	185	56,06	59	17,88	
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	138	41,82	188	56,97	58	17,58	
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	140	42,42	186	56,36	57	17,27	
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	135	40,91	187	56,67	56	16,97	
Junio	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	131	39,70	188	56,97	56	16,97	
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	133	40,30	191	57,88	59	17,88	
	01-jun	30-jun	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	133	40,30	190	57,58	58	17,58	

ESTUDIO DE ABERTURA - CASO QUILLOTANO - ENVOLVENTE POLICARBONATO ALVEOLAR / LUN A DOM - HORARIO DIURNO 8:00 A 18:00 HRS														
MES	FECHA		HORAS TOTALES	HORAS DIA	FACTOR FORMA	DIMENSIONES	ORIENTACIÓN	%ABERTURA	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		Horas en CHF	% CHF
	INICIO	TÉRMINO							Horas	%	Horas	%		
Julio	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	136	39,88	152	44,57	18	5,28
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	155	45,45	163	47,80	24	7,04
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	149	43,70	172	50,44	32	9,38
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	142	41,64	177	51,91	32	9,38
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	137	40,18	179	52,49	32	9,38
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	134	39,30	181	53,08	34	9,97
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	130	38,12	186	54,55	37	10,85
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	121	35,48	184	53,96	35	10,26
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	123	36,07	187	54,84	38	11,14
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	120	35,19	189	55,43	40	11,73
	01-jul	31-jul	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	115	33,72	187	54,84	36	10,56
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	158	46,33	118	34,60	34	9,97
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	224	65,69	155	45,45	71	20,82
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	216	63,34	172	50,44	83	24,34
01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	208	61,00	177	51,91	86	25,22	
Agosto	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	199	58,36	176	51,61	81	23,75
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	193	56,60	181	53,08	84	24,63
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	185	54,25	185	54,25	83	24,34
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	181	53,08	185	54,25	82	24,05
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	170	49,85	183	53,67	77	22,58
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	171	50,15	185	54,25	75	21,99
	01-ago	31-ago	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	166	48,68	187	54,84	76	22,29
	01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	115	34,85	73	22,12	20	6,06
	01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	262	79,39	127	38,48	76	23,03
	01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	245	74,24	150	45,45	94	28,48
	01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	234	70,91	167	50,61	102	30,91
	01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	218	66,06	174	52,73	102	30,91
	01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	205	62,12	183	55,45	107	32,42
	01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	192	58,18	185	56,06	106	32,12
01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	188	56,97	191	57,88	110	33,33	
01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	181	54,85	193	58,48	106	32,12	
01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	178	53,94	195	59,09	104	31,52	
01-sep	30-sep	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	170	51,52	201	60,91	104	31,52	

ESTUDIO DE ABERTURA - CASO QUILLOTANO - ENVOLVENTE POLICARBONATO ALVEOLAR / LUN A DOM - HORARIO DIURNO 8:00 A 18:00 HRS														
MES	FECHA		HORAS TOTALES	HORAS DIA	FACTOR FORMA	DIMENSIONES	ORIENTACIÓN	%ABERTURA	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		Horas en CHF	% CHF
	INICIO	TÉRMINO							Horas	%	Horas	%		
Octubre	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	99	29,03	63	18,48	23	6,74
	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	289	84,75	128	37,54	87	25,51
	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	288	84,46	179	52,49	138	40,47
	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	285	83,58	208	61,00	165	48,39
	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	283	82,99	225	65,98	179	52,49
	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	273	80,06	232	68,04	178	52,20
	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	265	77,71	241	70,67	181	53,08
	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	261	76,54	246	72,14	184	53,96
	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	254	74,49	249	73,02	180	52,79
	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	250	73,31	252	73,90	181	53,08
Noviembre	01-oct	31-oct	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	244	71,55	253	74,19	180	52,79
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	84	25,45	35	10,61	21	6,36
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	299	90,61	87	26,36	74	22,42
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	298	90,30	119	36,06	105	31,82
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	295	89,39	145	43,94	129	39,09
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	295	89,39	158	47,88	142	43,03
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	293	88,79	171	51,82	153	46,36
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	291	88,18	183	55,45	164	49,70
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	289	87,58	189	57,27	169	51,21
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	287	86,97	200	60,61	178	53,94
Diciembre	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	287	86,97	201	60,91	179	54,24
	01-nov	30-nov	720	330	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	285	86,36	208	63,03	185	56,06
	01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	53	15,54	22	6,45	16	4,69
	01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	310	90,91	136	39,88	130	38,12
	01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	310	90,91	166	48,68	169	49,56
	01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	310	90,91	200	58,65	194	56,89
	01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	310	90,91	215	63,05	209	61,29
	01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	310	90,91	231	67,74	225	65,98
	01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	310	90,91	238	69,79	232	68,04
	01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	310	90,91	251	73,61	245	71,85
01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	310	90,91	251	73,61	245	71,85	
01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	310	90,91	251	73,61	245	71,85	
01-dic	31-dic	744	341	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	310	90,91	252	73,90	246	72,14	

ESTUDIO DE ABERTURA - CASO QUILLOTANO - ENVOLVENTE POLICARBONATO ALVEOLAR / LUN A DOM - HORARIO NOCTURNO 19:00 A 7:00 HRS															
MES	FECHA		HORAS TOTALES	HORAS NOCHE	FACTOR FORMA	DIMENSIONES	ORIENTACIÓN	%ABERTURA	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		Horas en CHF	% CHF	
	INICIO	TÉRMINO							Horas	%	Horas	%			
Enero	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	120	29,85	146	36,32	72	17,91	
	<b>01-ene</b>	<b>31-ene</b>	<b>744</b>	<b>402</b>	<b>0,25</b>	<b>7,2X30X4</b>	<b>90° / 270°</b>	<b>10</b>	<b>158</b>	<b>39,30</b>	<b>233</b>	<b>57,96</b>	<b>116</b>	<b>28,86</b>	
	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	156	38,81	243	60,45	126	31,34	
	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	154	38,31	250	62,19	132	32,84	
	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	156	38,81	250	62,19	133	33,08	
	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	154	38,31	254	63,18	133	33,08	
	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	153	38,06	253	62,94	133	33,08	
	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	155	38,56	254	63,18	135	33,58	
	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	155	38,56	253	62,94	135	33,58	
	01-ene	31-ene	744	402	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	153	38,06	253	62,94	135	33,58	
Febrero	<b>01-ene</b>	<b>31-ene</b>	<b>744</b>	<b>402</b>	<b>0,25</b>	<b>7,2X30X4</b>	<b>90° / 270°</b>	<b>100</b>	<b>153</b>	<b>38,06</b>	<b>253</b>	<b>62,94</b>	<b>136</b>	<b>33,83</b>	
	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	108	29,67	126	34,62	67	18,41	
	<b>01-feb</b>	<b>28-feb</b>	<b>672</b>	<b>364</b>	<b>0,25</b>	<b>7,2X30X4</b>	<b>90° / 270°</b>	<b>10</b>	<b>141</b>	<b>38,74</b>	<b>190</b>	<b>52,20</b>	<b>103</b>	<b>28,50</b>	
	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	142	39,01	106	29,12	110	30,22	
	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	142	39,01	105	28,85	110	30,22	
	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	141	38,74	201	55,22	112	30,77	
	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	141	38,74	199	54,67	111	30,49	
	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	142	39,01	201	55,22	113	31,04	
	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	141	38,74	199	54,67	112	30,77	
	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	140	38,46	205	56,32	113	31,04	
Marzo	01-feb	28-feb	672	364	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	140	38,46	206	56,59	113	31,04	
	<b>01-feb</b>	<b>28-feb</b>	<b>672</b>	<b>364</b>	<b>0,25</b>	<b>7,2X30X4</b>	<b>90° / 270°</b>	<b>100</b>	<b>143</b>	<b>39,29</b>	<b>202</b>	<b>55,49</b>	<b>116</b>	<b>31,87</b>	
	<b>01-mar</b>	<b>31-mar</b>	<b>744</b>	<b>403</b>	<b>0,25</b>	<b>7,2X30X4</b>	<b>90° / 270°</b>	<b>0</b>	<b>120</b>	<b>29,78</b>	<b>169</b>	<b>41,94</b>	<b>77</b>	<b>19,11</b>	
	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	127	31,51	203	50,37	112	27,79	
	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	127	31,51	200	49,63	113	28,04	
	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	125	31,02	203	50,37	113	28,04	
	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	126	31,27	205	50,87	114	28,29	
	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	124	30,77	204	50,62	112	27,79	
	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	124	30,77	205	50,87	113	28,04	
	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	124	30,77	213	52,85	114	28,29	
Marzo	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	125	31,02	213	52,85	114	28,29	
	<b>01-mar</b>	<b>31-mar</b>	<b>744</b>	<b>403</b>	<b>0,25</b>	<b>7,2X30X4</b>	<b>90° / 270°</b>	<b>90</b>	<b>124</b>	<b>30,77</b>	<b>216</b>	<b>53,60</b>	<b>114</b>	<b>28,29</b>	
	01-mar	31-mar	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	123	30,52	216	53,60	113	28,04	



ESTUDIO DE ABERTURA - CASO QUILLOTANO - ENVOLVENTE POLICARBONATO ALVEOLAR / LUN A DOM - HORARIO NOCTURNO 19:00 A 7:00 HRS														
MES	FECHA		HORAS TOTALES	HORAS NOCHE	FACTOR FORMA	DIMENSIONES	ORIENTACIÓN	%ABERTURA	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		Horas en CHF	% CHF
	INICIO	TÉRMINO							Horas	%	Horas	%		
Abril	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	70	17,95	161	41,28	45	11,54
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	68	17,44	161	41,28	62	15,90
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	68	17,44	197	50,51	64	16,41
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	64	16,41	213	54,62	58	14,87
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	62	15,90	212	54,36	52	13,33
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	63	16,15	217	55,64	53	13,59
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	62	15,90	226	57,95	49	12,56
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	60	15,38	235	60,26	48	12,31
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	57	14,62	243	62,31	45	11,54
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	57	14,62	250	64,10	44	11,28
	01-abr	30-abr	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	56	14,36	256	65,64	43	11,03
	Mayo	01-may	31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	14	3,47	167	41,44	8
01-may		31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	13	3,23	170	42,18	10	2,48
01-may		31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	12	2,98	170	42,18	9	2,23
01-may		31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	13	3,23	171	42,43	9	2,23
01-may		31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	13	3,23	174	43,18	9	2,23
01-may		31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	13	3,23	182	45,16	9	2,23
01-may		31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	11	2,73	187	46,40	8	1,99
01-may		31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	11	2,73	188	46,65	8	1,99
01-may		31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	10	2,48	186	46,15	7	1,74
01-may		31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	10	2,48	187	46,40	7	1,74
01-may		31-may	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	10	2,48	188	46,65	7	1,74
Junio		01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	1	0,26	197	50,51	1
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	1	0,26	197	50,51	1	0,26
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	1	0,26	197	50,51	1	0,26
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	1	0,26	197	50,51	1	0,26
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	1	0,26	197	50,51	1	0,26
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	1	0,26	197	50,51	1	0,26
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	1	0,26	197	50,51	1	0,26
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	1	0,26	197	50,51	1	0,26
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	1	0,26	197	50,51	1	0,26
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	1	0,26	197	50,51	1	0,26
	01-jun	30-jun	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	1	0,26	197	50,51	1	0,26

ESTUDIO DE ABERTURA - CASO QUILLOTANO - ENVOLVENTE POLICARBONATO ALVEOLAR / LUN A DOM - HORARIO NOCTURNO 19:00 A 7:00 HRS														
MES	FECHA		HORAS TOTALES	HORAS NOCHE	FACTOR FORMA	DIMENSIONES	ORIENTACIÓN	%ABERTURA	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		Horas en CHF	% CHF
	INICIO	TÉRMINO							Horas	%	Horas	%		
Julio	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	8	1,99	258	64,02	6	1,49
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	8	1,99	258	64,02	6	1,49
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	8	1,99	258	64,02	6	1,49
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	8	1,99	258	64,02	6	1,49
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	8	1,99	258	64,02	6	1,49
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	8	1,99	258	64,02	6	1,49
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	8	1,99	258	64,02	6	1,49
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	8	1,99	258	64,02	6	1,49
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	8	1,99	258	64,02	6	1,49
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	8	1,99	258	64,02	6	1,49
	01-jul	31-jul	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	8	1,99	258	64,02	6	1,49
	01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	25	6,20	229	56,82	9	2,73
	01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	21	5,21	228	56,58	11	2,73
	01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	18	4,47	229	56,82	10	2,48
01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	17	4,22	236	58,56	8	1,99	
01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	16	3,97	242	60,05	8	1,99	
01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	17	4,22	247	61,29	8	1,99	
01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	15	3,72	254	63,03	7	1,74	
01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	15	3,72	254	63,03	6	1,49	
01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	15	3,72	254	63,03	6	1,49	
01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	16	3,97	254	63,03	6	1,49	
01-ago	31-ago	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	16	3,97	252	62,53	6	1,49	
01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	58	14,87	216	55,38	20	5,13	
01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	53	13,59	232	59,49	25	6,41	
01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	50	12,82	244	62,56	24	6,15	
01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	50	12,82	253	64,87	26	6,67	
01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	48	12,31	254	65,13	21	5,38	
01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	46	11,79	258	66,15	18	4,62	
01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	46	11,79	259	66,41	14	3,59	
01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	43	11,03	261	66,92	10	2,56	
01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	45	11,54	259	66,41	9	2,31	
01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	45	11,54	262	67,18	7	1,79	
01-sep	30-sep	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	41	10,51	265	67,95	7	1,79	
Septiembre														

ESTUDIO DE ABERTURA - CASO QUILLOTANO - ENVOLVENTE POLICARBONATO ALVEOLAR / LUN A DOM - HORARIO NOCTURNO 19:00 A 7:00 HRS														
MES	FECHA		HORAS TOTALES	HORAS NOCHE	FACTOR FORMA	DIMENSIONES	ORIENTACIÓN	%ABERTURA	TEMPERATURA		HUMEDAD RELATIVA		Horas en CHF	% CHF
	INICIO	TÉRMINO							Horas	%	Horas	%		
Octubre	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	78	19,35	152	37,72	35	8,68
	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	79	19,60	190	47,15	56	13,90
	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	77	19,11	199	49,38	61	15,14
	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	75	18,61	206	51,12	57	14,14
	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	76	18,86	211	52,36	59	14,64
	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	72	17,87	222	55,09	51	12,66
	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	72	17,87	220	54,59	48	11,91
	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	72	17,87	221	54,84	47	11,66
	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	72	17,87	230	57,07	50	12,41
	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	72	17,87	229	56,82	48	11,91
Noviembre	01-oct	31-oct	744	403	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	71	17,62	231	57,32	45	11,17
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	93	23,85	185	47,44	52	13,33
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	108	27,69	235	60,26	72	18,46
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	108	27,69	242	62,05	75	19,23
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	107	27,44	253	64,87	81	20,77
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	107	27,44	257	65,90	79	20,26
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	106	27,18	255	65,38	81	20,77
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	102	26,15	258	66,15	78	20,00
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	102	26,15	261	66,92	79	20,26
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	102	26,15	261	66,92	80	20,51
Diciembre	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	102	26,15	264	67,69	77	19,74
	01-nov	30-nov	720	390	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	101	25,90	264	67,69	77	19,74
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	0	116	28,71	158	39,11	71	17,57
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	10	146	36,14	249	61,63	114	28,22
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	20	145	35,89	261	64,60	125	30,94
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	30	145	35,89	262	64,85	127	31,44
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	40	144	35,64	265	65,59	128	31,68
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	50	141	34,90	268	66,34	128	31,68
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	60	143	35,40	269	66,58	129	31,93
	01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	70	143	35,40	272	67,33	130	32,18
01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	80	141	34,90	274	67,82	129	31,93	
01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	90	142	35,15	274	67,82	131	32,43	
01-dic	31-dic	744	404	0,25	7,2X30X4	90° / 270°	100	141	34,90	277	68,56	132	32,67	



## **ANEXO B**

Registro fotográfico de montaje y funcionamiento del sistema acuapónico  
construido en la ciudad de Concepción.

