



# “IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIA PASIVA PARA DESHUMIDIFICACIÓN EN ESPACIOS INTERIORES EN UN CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN ARQUITECTURA SOSTENIBLE Y GESTIÓN URBANA

PRESENTA

ARQ. JOSÉ LUIS GUERRERO ANGUIANO

DIRECTOR DE TESIS

DR. ARQ. LUIS AARÓN GARCÍA SOLÓRZANO

CO-DIRECTOR DE TESIS

DR. ING. JORGE ARMANDO OJEDA SÁNCHEZ

VILLA DE ÁLVAREZ, COLIMA, 27 DE ENERO DEL 2022





EDUCACIÓN  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Colima  
División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Villa de Álvarez, Colima, 25/enero/2022  
Oficio No. DEPI 1.2.1.1/14/2022

**ESTUDIANTE GUERRERO ANGUIANO JOSÉ LUIS  
PASANTE DE LA MAESTRÍA EN ARQUITECTURA SOSTENIBLE Y GESTIÓN URBANA  
PRESENTE**

La **División de Estudios de Posgrado e Investigación** de acuerdo al procedimiento para la obtención del Título de Maestría de los Institutos Tecnológicos y habiendo cumplido todas las indicaciones que la **Comisión Revisora** hizo a su trabajo profesional

**"IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIA PASIVA PARA DESHUMIDIFICACIÓN EN ESPACIOS INTERIORES EN UN CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO"**

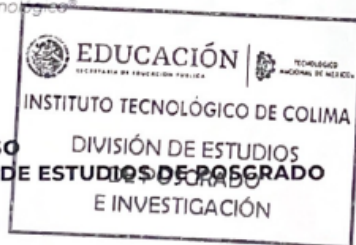
Por la opción de tesis, que para obtener el grado de Maestro en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana será presentado por Usted, tiene a bien concederle la **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN** de la tesis citada.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**

*Excelencia en Educación Tecnológica*

  
**PETER CHUNG ALONSO**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
E INVESTIGACIÓN**



Ccp. Archivo

PCA/\*cas



Av. Tecnológico #1, C.P. 28976, Villa de Álvarez, Colima, Tel. 312 3129920 Ext: 113 y 213  
Correo electrónico: [posgrado@colima.tecnm.mx](mailto:posgrado@colima.tecnm.mx) [www.colima.tecnm.mx](http://www.colima.tecnm.mx)



**2022** Ricardo  
**Flores**  
Año de  
**Magón**  
PROTECCIÓN DE LA HERENCIA CULTURAL



## AGRADECIMIENTOS

En este camino siempre se debe ser **agradecido** con todo aquello que te aporta y apoya a seguir adelante en realizar tus metas y sueños.

En primer lugar, agradecer a **dios** por permitirme estar en este espacio existencial denominado tierra.

A mis **padres** por darme la vida y todo el apoyo posible y por haber estado para que yo siguiera creciendo.

A mi **abuelo Gonzalo**, que, aunque no esté conmigo en este momento él siempre me apoyó y creyó en mis capacidades, por más difícil que fuera la situación.

A mi **familia** por ser un pilar de apoyo y estar en los momentos que más los he necesitado.

A mi **esposa Itzury Gómez** por ser parte de esta gran meta, la cual siempre me ha apoyado sin importar la situación, demostrándome su amor.

A mi **hijo Nick** por ser un gran motor de crecimiento, el cual me motiva a seguir creciendo y aprendiendo.

Al **TEC**, por permitirme ser parte de este proceso de aprendizaje y crecimiento.

Al **Dr. Luis Aaron García**, por ser parte de todo este proceso, el cual me apoyó incondicionalmente con el desarrollo de esta tesis.

A la **Universidad de Colima**, por prestarme equipos térmicos para poder desarrollar mi experimentación.

Al **Dr. Jorge Ojeda**, por apoyarme con su conocimiento y tiempo para desarrollar la metodología experimental y la de equipos térmicos.

Al **Dr. Ricardo Moreno Peña**, por todo el apoyo que me dio desde un inicio hasta el termino de este trabajo, por sus concejos y enseñanzas que me sirvieron para presentar un buen producto gráfico, **gracias**.

A mis **maestros** por compartir su conocimiento, enseñanzas, y habilidades

Por último, agradezco al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología “CONACYT”** por brindarme el apoyo económico a lo largo de estos dos años de investigación y trabajo.

## RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación, se enfoca en el análisis de la humedad relativa presente en los espacios habitables en un clima cálido **subhúmedo**. Buscando desarrollar un estrategia pasiva que permita reducirla.

Teniendo como base un análisis teórico y normativo, se sustentó el desarrollo metodológico y experimental. A través de estos se obtuvieron las bases fundamentales para poder diseñar los modelos experimentales, así como las condiciones necesarias a considerar para su desarrollo.

Se realizó una investigación de tipo cuantitativa que consistió en tres fases de trabajo, las cuales fueron **investigación de estudio**, la **caracterización experimental** y la **interpretación de los resultados**.

La estrategia pasiva elegida para realizar el experimento consistió en el uso de **vegetación** de tipo **epifita** las cuales presentan características de absorción gracias a sus **rizomas aéreos**. Se crearon las condiciones necesarias por medio de módulos experimentales, los cuales fueron diseñados con base a la normatividad analizada y permitiendo un flujo de ventilación a través de los mismos.

Los datos registrados durante el monitoreo en los módulos experimentales, con la aplicación de la estrategia vegetal pasiva, indican como nula la hipótesis planteada, sin embargo, se mostraron resultados positivos como sistema de enfriamiento.

### Palabras Clave

Deshumidificación, Condensación, Evaporación, Humedad del Aire, Punto de Rocío.

## ABSTRACT

The following research work focuses on the analysis of the relative humidity present in living spaces in a warm subhumid climate. Seeking to develop a passive strategy that allows to reduce it.

Based on a theoretical and normative analysis, the methodological and experimental development was sustained, and through these the fundamental bases were obtained to be able to design the experimental models, as well as the necessary conditions to consider for their development.

Quantitative research was carried out that consisted of three phases of work, which were study research, experimental characterization and interpretation of the results.

The passive strategy chosen to carry out the experiment consisted of the use of epiphytic-type vegetation which present absorption characteristics thanks to their aerial rhizomes. The necessary conditions were created by means of experimental modules, which were designed based on the regulations analyzed and allowing a ventilation flow through them.

The data recorded during the monitoring in the experimental modules, with the application of the passive plant strategy, indicate as null the hypothesis raised, however, positive results were shown as a cooling system.

### **Keywords**

Dehumidification, Condensation, Evaporation, Air Humidity, Dew Point.

## ÍNDICE

<b>OFICIO DE IMPRESIÓN .....</b>	<b>I</b>
<b>LICENCIA DE USO Y OBRA .....</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>E</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>E</b>
<b>ÍNDICE DE IMÁGENES.....</b>	<b>I</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>J</b>
<b>CAPITULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>4</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>4</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN METODOLÓGICO.....</b>	<b>5</b>
<b>ALCANCES Y LIMITACIONES.....</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>8</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
<b>CAUSAS.....</b>	<b>8</b>

---



CONSECUENCIAS .....	8
SOLUCIONES GENERALES .....	8
VIVIENDAS .....	9
CARACTERÍSTICAS GENERALES .....	9
BIOClimATISMO .....	10
CONDICIONES GENERALES .....	11
CARTA PSICROMÉTRICA.....	11
CONFORT HIGROTÉRMICO .....	13
CONFORT.....	14
PARÁMETROS Y FACTORES DE CONFORT .....	14
CORRIENTES DE AIRE.....	16
NUBOSIDAD.....	16
HUMEDAD .....	17
HUMEDAD AMBIENTAL.....	18
HUMEDAD ABSOLUTA .....	18
HUMEDAD RELATIVA .....	18
PRESIÓN PARCIAL DEL VAPOR DE AGUA.....	19
TEMPERATURA.....	20
TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO .....	21
TEMPERATURA DE BULBO SECO .....	21
TEMPERATURA RADIANTE MEDIA .....	22
VIENTO / AIRE.....	23
VENTILACIÓN .....	23
VELOCIDAD DEL AIRE .....	24

---

ENFRIAMIENTO SENSIBLE DEL AIRE .....	25
ENFRIAMIENTO LATENTE DEL AIRE.....	26
CUERPO HUMANO .....	27
PÉRDIDA DE CALOR POR DIFUSIÓN EN LA PIEL .....	30
SISTEMAS PASIVOS.....	30
ESTRATEGIAS .....	31
VEGETACIÓN .....	32
BENEFICIOS .....	32
PLANTA EPÍFITAS.....	33
HELECHO NEPHROLEPIS EXALTATA.....	34
EQUIPOS DE MEDICIÓN .....	35
MARCO NORMATIVO .....	35
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>40</b>
METODOLOGÍA .....	40
CARACTERÍSTICAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	42
ENFOQUE Y TIPO DE ESTUDIO.....	42
DISEÑO METODOLÓGICO.....	44
POBLACIÓN Y MUESTRA.....	44
DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES .....	44
VARIABLE DE CONTROL.....	45
VARIABLE INDEPENDIENTE.....	45
VARIABLE DEPENDIENTE .....	45
DISEÑO EXPERIMENTAL .....	46
UNIVERSO DE ESTUDIO .....	46
COLIMA.....	46
CLIMA .....	48

---

HIDROGRAFÍA.....	49
DIVERSIDAD DE ECOSISTEMAS.....	49
LOCALIZACIÓN DE ESCENARIO EXPERIMENTAL .....	49
SOFTWARE PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS Y SU INTERPRETACIÓN .....	53
EQUIPOS E INSTRUMENTOS.....	55
SENSOR U12-12 .....	56
ESPECIFICACIONES .....	57
SENSOR UX190 – LCD Y T-DCI-F900-S-P.....	58
ESPECIFICACIONES .....	60
MODULO EXPERIMENTAL .....	63
ESQUEMA DE DISEÑO.....	63
PROPUESTA DE DISEÑO .....	66
CONSTRUCCIÓN DE MÓDULOS .....	72
AISLAMIENTO DE MÓDULOS.....	80
CALIBRACIÓN DE MÓDULOS Y EQUIPOS.....	81
COLOCACIÓN DE ESPECIES Y EQUIPOS.....	84
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	90
EXPERIMENTO.....	90
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>93</b>
RESULTADOS OBTENIDOS .....	93
PRESENTACION DE RESULTADOS .....	93
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	95
PROCESAMIENTO Y ANALISIS.....	95
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>105</b>
CONCLUSIONES.....	105
RECOMENDACIONES PARA TRABAJO A FUTURO .....	108

---

NUEVAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	108
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>114</b>
ABREVIATURAS.....	114
ECUACIONES .....	114
UNIDADES .....	115
BOCETOS .....	116

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Conversiones termométricas, Fuente: (Rodríguez, 2001) .....	20
Tabla 2.- Relación velocidad del aire y percepción, Fuente: (EADIC, 2013) .....	25
Tabla 3.- Efectos del viento sobre el hombre, Fuente: (Olgyay, 2016).....	25
Tabla 4.- Clasificación de normas según su origen, Fuente: Propia. ....	37
Tabla 5.- Clasificación de normas según su aplicación, Fuente: Propia.....	38
Tabla 6.- Clasificación de las variantes, Fuente: Propia.....	46
Tabla 7. Climatología, Fuente: (INEGI, 2015).....	48

### ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Radiación Solar, Fuente: (GOOGLE, 2020).....	1
Ilustración 2.- Carta bioclimáticas de Baruch Givoni, Fuente: (Herrero, 2020).....	12
Ilustración 3.- Carta bioclimáticas de Baruch Givoni, Fuente: (GOOGLE, 2020).....	13

---

Ilustración 4.- Principales factores y parámetros que afectan el confort térmico, Fuente: (GOOGLE, 2020).	15
Ilustración 5.- la circulación general de la atmosfera y las masas de aire, Fuente: (GOOGLE, 2020).	16
Ilustración 6.- Diagrama Psicométrico, Fuente: (GOOGLE, 2020).	20
Ilustración 7.- Climograma para zonas húmedas de Baruch Givoni, Fuente: (Herrero, 2020)	22
Ilustración 8.- Temperatura radiante media, Fuente: (GOOGLE, 2020).	22
Ilustración 9.- Proceso de enfriamiento sensible, Fuente: Propia	26
Ilustración 10.- Proceso de enfriamiento latente del aire, Fuente: Propia	26
Ilustración 11.- Proceso de intercambio de calor, Fuente: (GOOGLE, 2020)	28
Ilustración 12.- Helecho Nephrolepis Exaltata, Fuente: (GOOGLE, 2020)	34
Ilustración 13.- Regiones donde se han localizado Helechos Nephrolepis Exaltata, Fuente: (Naturalista, 2021)	34
Ilustración 14.- Localización y sus 10 municipios, Fuente: (Velasco, 2005)	47
Ilustración 15.- Localización del municipio de Villa de Álvarez en el estado de Colima, Fuente: (GOOGLE, 2020)	50
Ilustración 16.- Localización del sitio experimental ITC, Fuente: (GOOGLE , 2020).	51
Ilustración 17.- Programa para obtener los datos de los sensores Hoboware, Fuente: Propia.	53
Ilustración 18.- Grafica del programa Hoboware, Fuente: Propia	54
Ilustración 19.-Datos numéricos arrojados por el programa Hoboware, Fuente: Propia	54

---



Ilustración 20.- Datalogger U12-012, Fuente: (ONSET, 2020) .....	56
Ilustración 21.- Programación de sensor de temperatura, Fuente: Propia .....	57
Ilustración 22.- Datalogger modelo UX190 - LCD, Fuente: (ONSET, 2020).....	58
Ilustración 23.- Sensor de viento T-DCI-F900-S-P, Fuente: (ONSET, 2020).....	59
Ilustración 24.- Programación de sensor de viento, Fuente: Propia. ....	59
Ilustración 25.- Diseño esquemático de modulo, Fuente: Propia. ....	64
Ilustración 26.- Diseño esquemático de modulo, Fuente: Propia. ....	64
Ilustración 27.- Verificación de modulo en el túnel de viento digital, Fuente: Propia. .....	65
Ilustración 28.- Dimensiones mínimas espacios habitables, Fuente: (Ayuntamiento de COLIMA, 2014) .....	66
Ilustración 29.- Planta arquitectónica modulo experimental, Fuente: Propia. ....	67
Ilustración 30.- Alzado frontal modulo experimental, Fuente: Propia. ....	67
Ilustración 31.- Alzado posterior modulo experimental, Fuente: Propia. ....	68
Ilustración 32.- Alzado lateral derecho modulo experimental, Fuente: Propia.....	68
Ilustración 33.- Alzado lateral izquierdo modulo experimental, Fuente: Propia....	69
Ilustración 34.- Sección modulo experimental, Fuente Propia.....	69
Ilustración 35.- Propuesta volumétrica de modulo experimental, Fuente Propia. .	70
Ilustración 36.- Grafica de calibración de equipostemperatura, Fuente: Propia ....	83
Ilustración 37.- Grafica de calibración de equipos humedad, Fuente: Propia.....	83
Ilustración 38.- Área de uso por helecho, Fuente: Propia. ....	85

---

Ilustración 39.- Distancia entre los estacionamientos, Fuente: Fuente: (GOOGLE , 2020) .....	87
Ilustración 40.- Grafica comparativa de sensores en módulos experimentales, Fuente: Propia.....	90
Ilustración 41.- Ejemplo de Información obtenida por cada sensor, Fuente: Propia. ....	93
Ilustración 42.- Día típico, Fuente: Propia .....	94
Ilustración 43.- Información normalizada por hora, Fuente: Propia .....	95
Ilustración 44.- Ejemplo de normalización de datos por semana, Fuente: Propia. .	96
Ilustración 45.- Ejemplo de Grafica, Fuente: Propia .....	97
Ilustración 46.- Grafica de datos normalizados por semana modulo testigo, Fuente: Propia.....	98
Ilustración 47.- Grafica de datos normalizados por semana modulo experimento, Fuente: Propia.....	98
Ilustración 48.- Grafica de datos normalizados por semana modulo ambiente, Fuente: Propia.....	99
Ilustración 49.- Comparativo grafico lineal humedad - temperatura, Fuente: Propia. ....	100
Ilustración 50.- Analisis psicometrico de enfriamiento por perdida de humedad, Fuente: Propia.....	101
Ilustración 51.- Analisis comparativo del comportamiento higrotermico, Fuente: Propia.....	101
Ilustración 52.- Zoom del comportamiento higrotermico, Fuente: Propia. ....	102

---

Ilustración 53.-Grafico de dispersión temperatura, Fuente: Propia..... 103

Ilustración 54.- Grafico de dispersión humedad relativa, Fuente: Propia..... 104

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1.- Ubicación de sitio experimental, Fuente: Propia. .... 52

Imagen 2.- Colocación de extensión eléctrica al interior del módulo, Fuente: Propia.  
..... 61

Imagen 3.- Base protectora de sensor, Fuente Propia. .... 62

Imagen 4.- Prueba de modulo en túnel de viento, Fuente Propia. .... 71

Imagen 5.- Sitio Experimental, Fuente: Propia. .... 72

Imagen 6.- Material utilizado, Fuente: Propia..... 73

Imagen 7.- Trazo de base 1.15 M X 1.15 M, Fuente: Propia..... 74

Imagen 8.- Proceso de armado de perfilería de aluminio, Fuente: Propia..... 74

Imagen 9.- Fijación de módulos, Fuente Propia. .... 75

Imagen 10.- Recubrimiento de las caras de los módulos, Fuente: Propia..... 75

Imagen 11.- Ventana de captación de aire, Fuente: Propia. .... 76

Imagen 12.- proceso de fabricación chimenea, Fuente: Propia. .... 76

Imagen 13.- Fabricación de torre de viento, Fuente: Propia..... 77

Imagen 14.- Fabricación de puerta de acceso removible, Fuente: Propia. .... 78

Imagen 15.- Sellado de uniones de paneles, Fuente: Propia..... 78

---

Imagen 16.- Aplanado de módulos con mezcla de pegapiso con arena, Fuente: Propia.....	79
Imagen 17.- Proceso de secado de módulos, Fuente: Propia. ....	79
Imagen 18.- Aplicación de lámina aislante, Fuente: Propia.....	80
imagen 19.- Rotulo de sensores U12, Fuente: Propia. ....	81
imagen 20.- Inicio de calibración de equipos, Fuente: Propia.....	82
Imagen 21.- Selección de hehecho, Fuente: Propia. ....	84
Imagen 22.- Selección de hehechos con diámetro de 30 cm, Fuente: Propia.....	85
Imagen 23.- Estacionamiento general del TEC, Fuente: Propia.....	86
Imagen 24.- Transporte de hehechos al área experimental, Fuente: Propia. ....	86
Imagen 25.- Identificación de sensores, Fuente: Propia. ....	87
Imagen 26.- Torre protectora de sensor, Fuente: Propia.....	88
Imagen 27.- Ingreso de sensor, Fuente: Propia.....	89
Imagen 28.- Ubicación de sensores en modulos experimentales, Fuente: Propia..	89
Imagen 29.- Idea previa de diseño de módulos, Fuente: Propia.....	116
Imagen 30.- Idea previa de diseño de módulos, Fuente: Propia.....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Clasificación de fases metodológicas, Fuente: Propia.....	40
Figura 2.- Diagrama de proceso metodológico, Fuente: Propia.....	41
Figura 3.- Proceso de investigación, Fuente: Propia.....	43

---





## CAPITULO 1

### INTRODUCCIÓN

En la regiones cálida-subhúmedo prevalecen las altas temperaturas. Este factor afecta especialmente a las zonas de alta presión de vapor. La solución a este efecto es aumentar el movimiento del aire, el cual apoye en mover las partículas del agua presentes en el ambiente.(Olgay,2016, 15 edición)

La energía que desprende el sol y llega a la tierra para generar los climas de cada región, es conocida como “**radiación solar**” (Ilustración 1). Se define como la cantidad de energía y viento solar que se emite al espacio y es generada por medio de las reacciones térmicas que se provocan en el núcleo del sol.<sup>1</sup>



Ilustración 1. Radiación Solar, Fuente: (GOOGLE, 2020).

Todos los edificios, elementos arquitectónicos, así como las personas las cuales se encuentran por encima del suelo, siempre estarán en contacto con la atmósfera, así como de los cambios que puedan ocurrir durante el transcurso del día.

La forma por la cual el cuerpo humano puede intercambia calor con su entorno inmediato se clasificarse en tres procesos: **radiación, convección y evaporación**. Se calcula que el cuerpo humano puede perder  $\frac{2}{5}$  partes de su calor a través de la **radiación**,  $\frac{2}{5}$  partes por **convección** y  $\frac{1}{5}$  parte por **evaporación**; pero se podrían llegar a modificar estos

---

<sup>1</sup> Radiación Solar (Energía Solar, 2027)

valores de pérdida, esto debido a algún cambio de temperatura que se pudiera presentar en el cuerpo humano. (Olgay, 2016)

Viktor Olgay (2016) dice que a medida que la presión del del aire se incrementa, el límite de confort de las personas tiende a aumentar, ya que el flujo del aire beneficia al cuerpo humano a que pueda reducir su calor corporal por medio de la convección y la transpiración, provocando un efecto de frescura debido a la reducción de humedad en la piel de las personas. Este factor debe aprovecharse para refrescar los espacios en las épocas de mayor calor y con un alto grado de humedad.

Viktor Olgay (2016) menciona que se ha demostrado que la evaporación puede disminuir la temperatura de bulbo seco, esto debido a que en las curvas de la gráfica se puede calibrar por intervalos de  $0.7154 \text{ Cm}^3$  de humedad por cada  $\text{Kg}$  de aire, dando como resultado la disminución de la temperatura por efecto de la evaporación de humedad en el ambiente, este factor modificara la temperatura de confort, provocando el movimiento de la temperatura hacia el límite exterior de la zona de confort. Al sustraerse la humedad del aire se crea una sensación de enfriamiento fisiológico, más que un efecto físico real. Debido a que la alta humedad impide al hombre el enfriamiento natural por medio de la evaporación del sudor (en vez de ello el sudor se aloja sobre la piel y no se evapora para enfriar el cuerpo), la tolerancia del hombre para soportar temperaturas más altas se reduce, con una temperatura corporal media de  $37 \text{ }^\circ\text{C}$ , al buscar unas condiciones térmicas favorables, escogen aquellas áreas en las cuales la temperatura se encuentra entre el frío que pueden tolerar sin estar demasiado incómodo y el punto que le permita adaptarse al calor, sin que su sistema circulatorio y de secreción tenga que realizar un esfuerzo excesivo para regular su temperatura corporal.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la regiones de clima cálido-subhúmedo prevalece el alto grado de humedad en el ambiente y las altas temperaturas. Estos factores influyen negativamente al interior de las viviendas, perjudicando el confort de las personas, la conservación de los espacios, así como el mobiliario que en ellas se encuentran.

## JUSTIFICACIÓN

El calor del ambiente es una de los elementos que más condicionan el **confort** de las personas en un espacio habitable, pero no es el único elemento que influye. ¿Cuántas veces se ha relaciona la percepción que se tiene de energía solar a la temperatura que es medida por medio de un termómetro de mercurio? Sin embargo, la sensación de calor no sólo depende de la temperatura, sino de la tecnica que presenta cada cuerpo humano para poder eliminar el **excedente de humedad presente**, que limita los procesos de evaporación a través de la piel, condicionando así la pérdida de calor. Así mismo se tiene un conocimiento empírico en algunos hogares en relación a que las plantas pueden ayudar a mejorar las condiciones térmicas del aire.

El análisis y diseño de prototipos que tengan como fundamento la estrategia de reducción de humedad y temperatura, que pretendan lograr las condiciones óptimas en el interior de un espacio habitable, y en consecuencia beneficiar en aspectos de salud a los usuarios, por lo que se justifica el lograr las temperaturas y humedades optimas de confort, mediante un sistema pasivo en el que se consideren ciertos tipos de vegetación, beneficiara de manera directa al usuario en su economía pues reducirá el uso de energía eléctrica y por consecuencia abonara a reducir de manera global la huella de carbono, además de poder disfrutar de un habitad saludable.

Dentro de la literatura, se menciona que de los especímenes que existen y pueden sustraer la **humedad** del ambiente, se encuentran las plantas tipo **epifitas** (plantas de tipo no parasitas), las cuales presentan una estructura morfológica de raíces aéreas, las cuales

permiten captar y filtrar la humedad. Pero profundizando en la literatura no se encontró información que mencione la utilización de los **helechos Boston** (*Nephrolepis Exaltata*) por lo que además se justifica en proponer esta especie para estudiar como estrategia de mitigación en la reducción de humedad relativa presente en un espacio habitable, esto con la finalidad de poder reducir también la temperatura y crear un espacio comfortable para los usuarios.

### PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el desempeño de la vegetación del tipo **Helechos Boston** (*Nephrolepis Exaltata*) en un clima cálido subhúmedo como estrategia de reducción de humedad y temperatura al implementarlo como sistema pasivo en el interior de un espacio?

### HIPÓTESIS

Aprovechando las propiedades de absorción que tiene los **Helechos Boston** (*Nephrolepis Exaltata*), y el flujo del aire presente en el interior de un espacio habitable; mediante el diseño y uso de un sistema deshumidificador pasivo, obtendremos las condiciones adecuadas para un espacio comfortable en un clima cálido subhúmedo mediante: la reducción de la humedad y la temperatura.

### OBJETIVOS

#### OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el desempeño de un sistema deshumidificante pasivo, que permita crear espacios confortables, por medio de la reducción de la humedad relativa.

---

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar y diseñar un prototipo deshumidificante pasivo, el cual permita la sustracción de humedad del aire.
- Construir módulos experimentales para analizar el comportamiento de un sistema deshumidificante pasivo.
- Poner a prueba el prototipo deshumidificante con la vegetación seleccionada (**Helechos Boston “Nephrolepis Exaltata”**) en los módulos diseñados.
- Obtener datos precisos de humedad y temperatura de los módulos por medio de sensores de temperatura de bulbo seco y humedad relativa.
- Comprobar si hay una reducción de humedad y temperatura en los módulos por medio de los datos obtenidos de los sensores (**HOBO Data Logger**).

## RESUMEN METODOLÓGICO

El desarrollo de este trabajo se dividió en tres fases principales: la investigación del estudio, la caracterización del experimento y la interpretación de datos.

Los tipos de investigación que se consideraron para el desarrollo de este trabajo es de carácter **“exploratoria (investigación), experimental (comprobación) y correlacional (comparativa de datos)”**.

Se planteó un enfoque metodológico el cual permitió determinar el porcentaje de humedad presente en los espacios interiores en un clima cálido subhúmedo, mediante un comparativo experimental. Dicho experimento se enfocó en el análisis de la utilización de una planta de tipo epífita la cual puede sustraer humedad del ambiente. Analizando su desempeño al interior del módulo experimental, mostrando el porcentaje de humedad y temperatura reducida, cumpliendo con el objetivo de la pregunta de investigación.



**Fase 1:** Obtención de información relevante hacia la investigación, la cual permitió tener fundamentos teóricos para sustentar este trabajo.

**Fase 2:** Desarrollo experimental en la cual se tuvo que fabricarán 2 módulos de placas de “**CEMPANEL**”. Dichos módulos fueron clasificados para el desarrollo experimental y la obtención de datos de la siguiente forma:

- Modulo 1: Vegetación seleccionada para experimento.
- Modulo 2: Testigo muestra.

La obtención de equipos los cuales permitieran hacer las mediciones de humedad relativa, temperatura y viento.

**Fase 3:** interpretación de los datos obtenidos durante el proceso experimental.

## ALCANCES Y LIMITACIONES

Como toda investigación, existen ciertos alcances y limitaciones presentes durante el proceso de investigación, para el desarrollo de este trabajo se están tomando en cuenta estas condicionantes.

### Alcances:

- **Módulos:** diseño y construcción de modulo experimental.
- **Evaluación:** comprobar el funcionamiento del prototipo experimental por medio de simulación de viento y experimentación.
- **Análisis:** comparativa de los resultados obtenidos durante el proceso experimenta.
- **Producto:** conclusión de tesis.

### Limitaciones:

- **Espacio de experimentación:** para el desarrollo experimental era necesario tener un espacio bajo condiciones las cuales se pudieran controlar, no fue posible tener acceso a espacios que presentaran estas condiciones, por lo cual se optó por un espacio en el cual fue posible controlar y monitorear ciertas variables.
- **Equipos e instrumentos:** la obtención de los equipos “**Datalogger U12-012, Datalogger UX190**” para poder realizar las mediciones de temperatura y humedad relativa, así como el posible fallo que pudiera presentarse según la tolerancia presente por el fabricante.
- **Condiciones climáticas:** ya que se pretende hacer un monitoreo en la temporada de verano, la recolección de los datos se pueda complicar por temas de lluvia, debido a las alteraciones de datos, por el exceso de humedad.
- **Módulos:** diseño, costo y fabricación de módulos adecuados a las necesidades de dicha experimentación, realizados por el alumno.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### CAUSAS

Viktor Olgyay (2016) habla sobre el aire con alto contenido de vapor de agua penetra a través de los materiales o de los espacios abierto de la edificación hacia aquellas zonas con una presión de vapor baja. Teóricamente, la condensación se produce cuando el aire cargado de humedad del interior de una edificación alcanza el punto de rocío.

#### CONSECUENCIAS

La acción del aire húmedo sobre los metales produce el fenómeno de la corrosión, debido sencillamente a una oxidación del metal. El grado de acción del metal, puesto que uno resiste mejor corrosión que otros, pero dependen también de las características de la atmósfera acrecentándose considerablemente por la presencia de la humedad y de impurezas (compuestos sulfurosos o azufrados, ácidos, sales, cenizas, humos, etc.). (Morillón, 2002)

#### SOLUCIONES GENERALES

El arquitecto Viktor Olgyay (2016) describe los métodos de T.S. Rogers para eliminar la condensación en la edificación los cuales son:

- Reducción de Humedad en el interior.
- Barreras de vapor o superficies resistentes al vapor en el lado más cálido de la zona de punto de rocío.
- Conectar el lado frío con el aire exterior.

---

## VIVIENDAS

Esperanza Ferrando (1992) define el termino de vivienda como el refugio natural, o construido por la mano del hombre, en el que éste habita de modo temporal o permanente.

Alicia Pérez (2020) menciona que la palabra vivienda es sinónimo de casa-habitación, de alojamiento, de hogar, no ha sido definida concretamente por la legislación civil mexicana. Tenemos el concepto de domicilio dado por el artículo 29 de Código Civil para el Distrito Federal que abarca tanto la morada como el lugar donde se tiene el principal asiento de los negocios. Pero que no denota específicamente a la vivienda.

Según Verwilghen, la casa es una idea que trata de engloba las características de vivir y la envolvente arquitectónica funciona como sustento. Dicho espacio es donde los habitantes hacen gran parte de sus necesidades fisiológicas.(Pérez, 2020)

---

## CARACTERÍSTICAS GENERALES

Euán Dollfus, con su muestrario de viviendas características de todo el mundo, confirman que el principal objetivo de los constructores ha sido siempre la búsqueda de las condiciones óptimas de confort térmico. (Olgyay, 2016)

Francisco Álvarez (2016) menciona que en 2001 la Comisión Nacional del Fomento a la Vivienda (CONAFOVI), hoy Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) desarrolla un programa de vivienda sostenible con los siguientes objetivos:

- Adecuar la normatividad vigente en materia de vivienda hacia el cuidado del medio ambiente.
- Diseñar lineamientos que permitan definir y calificar a una vivienda como sustentable.
- Promover el intercambio y transferencia de tecnologías con organismos internacionales.

- Fomentar el uso de tecnologías novedosas que garanticen el cuidado al medio ambiente.
- Diseñar y desarrollar esquemas de incentivos fiscales dirigidos a los desarrolladores y usuarios de la vivienda.
- Llevar a cabo acciones de difusión para promover el uso de ecotecnologías.

---

## **BIOCLIMATISMO**

Francisco Álvarez (2016) lo define como la búsqueda del confort higrotérmico por medios naturales denominados estrategias bioclimáticas, como: buscar la mejor ubicación considerando el entorno natural y el construido, la forma óptima, la orientación más adecuada, la protección y captación solar y la eólica, la masa térmica, el enfriamiento evaporativo, etc., y el uso de sistemas pasivos como muros trombe, invernaderos, pozos canadienses, etc. Algunos de estos sistemas se auxilian de pequeños motores para su funcionamiento y se denominan sistemas híbridos. Los sistemas mecánicos de aire acondicionado y calefacción se dejan como respaldo para situaciones que no se pueden solucionar con las estrategias anteriores.

Se puede considerar que en México el aspecto bioclimático, inicia en 1967 con los estudios de Jauregui, para formular las "Recomendaciones bioclimáticas para el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS)". (Álvarez, 2016)



---

## CONDICIONES GENERALES

En la lucha por conseguir el equilibrio biológico se producen diversas reacciones físicas y psicológicas. El hombre se esfuerza por llegar al punto en el que adaptarse a su entorno le requiera solamente un mínimo de energía. Las condiciones bajo las cuales consigue este objetivo se definen como **“zona de confort”**, donde la mayor parte de la energía humana se libera para dedicarse a la productividad. (Olgay, 2016)

La escuela de arquitectura e ingeniería **“EADIC”** (2013) habla sobre el confort térmico, el cual es un factor que se tiene que tomar en cuenta en relación a la adaptación bioclimática de la construcción. Se enfoca en a las características de comodidad que debe tener los habitantes, pero desde la perspectiva de una gran armonía entre la índole de temperatura y humedad de dicho espacio habitable. Otro factor que también tiene que ser tomado en cuenta es el movimiento del aire, así como la temperatura que presentan las envolventes de las construcciones, ya que estos factores influyen directamente a los usuarios.

El arquitecto Viktor Olgay (2016) menciona que los principales elementos que afectan al confort humano son los siguientes:

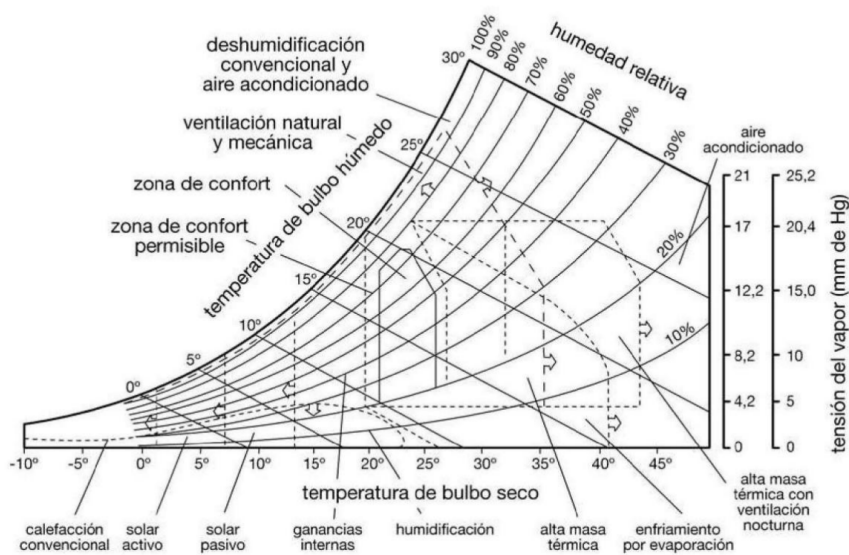
- Temperatura del aire
- Radiación solar.
- Movimiento del aire.
- Humedad.

---

## CARTA PSICROMÉTRICA

En **las cartas bioclimáticas** (Ilustración 2) creada por Baruch Givoni muestra las zonas de confort de invierno y verano, en relación al análisis higrotérmico. En ellas muestra las estrategias bioclimáticas que pueden ser aplicadas a los espacios habitables para mejorar su habitabilidad. marcando las fronteras que existen entre la zona de confort y las estrategias bioclimáticas.(EADIC, 2013)





**Ilustración 2.- Carta bioclimáticas de Baruch Givoni, Fuente: (Herrero, 2020).**

Las bases se encuentran en la carta bioclimática de Givoni, donde cualquier estado del aire ambiental se define en función de la temperatura de bulbo seco, humedad relativa y otros parámetros del aire. Los rangos definidos por él son los siguientes (Ilustración 3):

1. **Confort:** de 21 a 26 °C de temperatura, de 20 a 75% de humedad relativa.
2. **Confort permisible:** de 20 a 27 °C de temperatura, 20 a 80% de humedad relativa.
3. **Calefacción por ganancias internas.**
4. **Calefacción por aprovechamiento pasivo de la energía solar.**
5. **Calefacción por aprovechamiento activo de la energía solar.**
6. **Humidificación.**
7. **Calefacción convencional.**
8. **Protección solar:** desplazamiento hacia la zona cálida.
9. **Refrigeración por alta masa térmica.**

10. Enfriamiento evaporativo.

11. Refrigeración por alta masa térmica con renovación nocturna.

12. Refrigeración por ventilación natural y mecánica.

13. Aire acondicionado

14. Deshumidificación.

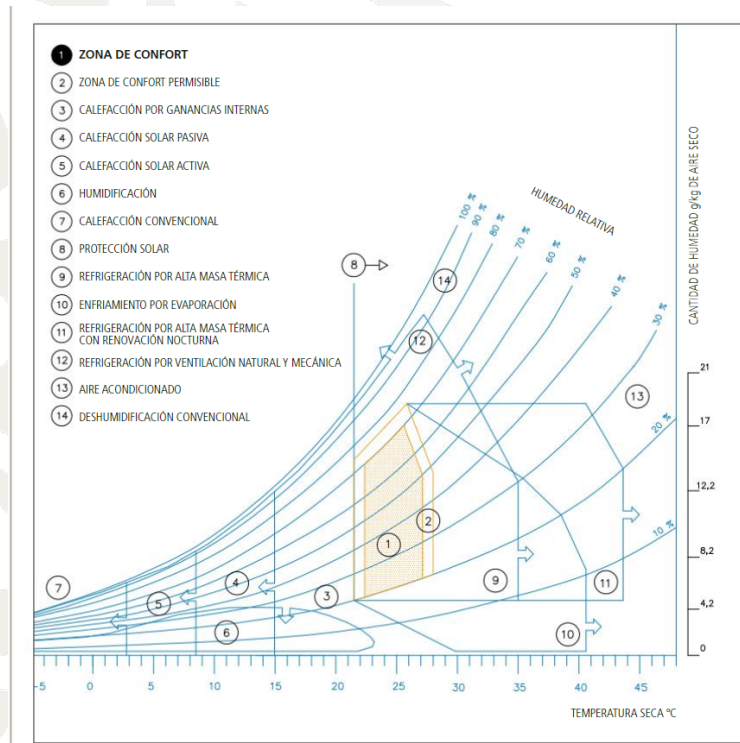


Ilustración 3.- Carta bioclimáticas de Baruch Givoni, Fuente: (GOOGLE, 2020)

### CONFORT HIGROTÉRMICO

En fisiología se dice que hay confort higrotérmico cuando no tienen que intervenir los mecanismos termorreguladores del cuerpo para una actividad sedentaria y con un ligero arropamiento. La sensación de comodidad surge de la generación de un microclima que evita la reacción del cuerpo ahorrando gastos de energía. (Mayorga, 2018)

María López de Asiain (2003) menciona que el **confort térmico** se produce cuando existen estas dos características:

- La porción de energía generada por la biotransformación es similar al volumen de calor trasferido al entorno estático. El promedio de creación de energía del cuerpo humano es aproximadamente 70 kcal/h (1 kcal/h por Kg de peso).
- No exiaste alguna sensación de frío o calor en el cuerpo humano.

## CONFORT

---

El término "**confort**" se define como un estado de comodidad, aunque su definicion es aun mas extensa debido a que se relaciona con el estado de salud de las personas.. (EADIC, 2013)

La norma **ISO 7730** lo define cómo: "Esa condición de la mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico". (Mayorga, 2018)

**ASHRAE** lo define el cómo: "un punto de equilibrio donde los habitantes se encuentran confortables con las condiciones ambientales presentes". (Mayorga, 2018)

## PARÁMETROS Y FACTORES DE CONFORT

---

La escuela de arquitectura e ingeniería "**EADIC**" (2013) define que las características de confort son aquellos factores generales de un lugar, las cuales influyen en las percepciones de los habitantes. Esto puede variar según el clima o ambiente y, son clasificas de la siguiente manera:

1. Parámetros Ambientales:
  - Temperatura de bulbo seco.
  - Temperatura relativa.

- Temperatura de Bulbo húmedo.
- Velocidad media del aire.
- Temperatura radiante media

## 2. Parámetros Arquitectónicos:

- Adaptación del espacio.
- Conexión entre lo visual y auditivo.

Según Fanger Roset (2001), son seis los factores y parámetros básicos que influyen directamente en los porcentajes de pérdida de calor del cuerpo humano (Ilustración 4), afectando el bienestar térmico:

- Temperatura de aire ( $T_a$ ).
- Temperatura media radiante ( $T_{mr}$ ).
- Humedad Relativa (HR).
- Velocidad del air ( $V$ ).
- Tasa metabólica ( $M$ ).
- La ropa (Clo).

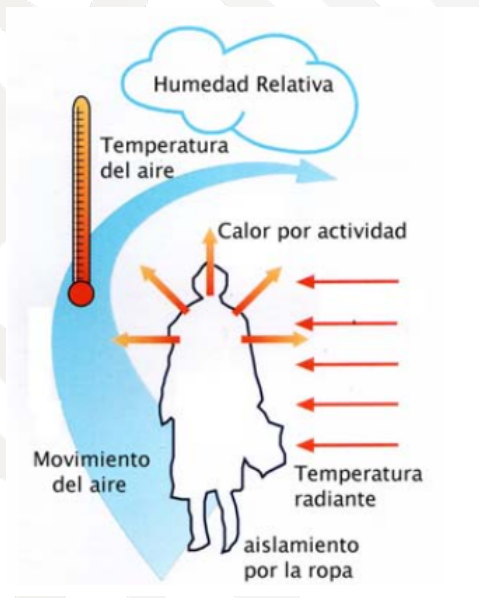


Ilustración 4.- Principales factores y parámetros que afectan el confort térmico, Fuente: (GOOGLE, 2020).



## CORRIENTES DE AIRE

La latitud marca la ubicación de un punto con respecto a la conexión que existe con la atmósfera. Esto se debe a los procesos de calentamiento generados por el sol. El aire caliente se desplaza verticalmente hasta las zonas más frías de la capa atmosférica, siendo reemplazada por aire más frío que viene de los polos, pero a su vez, el aire que presenta una mayor temperatura se mueve hasta los polos, donde este es enfriado y desciende, dirigiéndose hacia el ecuador, completando así la circulación (Ilustración 5). (López, 2017)

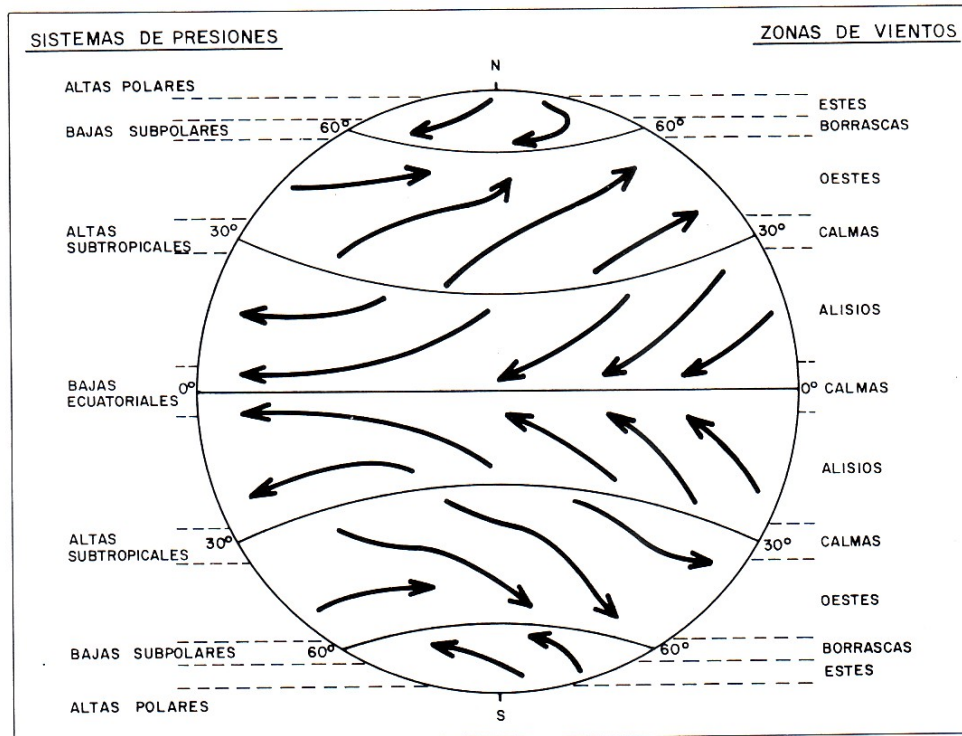


Ilustración 5.- la circulación general de la atmósfera y las masas de aire, Fuente: (GOOGLE, 2020).

## NUBOSIDAD

Está formada por un conjunto de partículas minúsculas de agua líquida o hielo suspendidas en la atmósfera en forma de masa, cuyo color varía según la luz solar. (Rodríguez, 2001)

Su origen es el resultado de dos aspectos: la condensación del vapor de agua contenido en el aire hasta alcanzar su saturación, descendiendo la temperatura hasta el



punto de rocío; y la presencia de núcleos de condensación, que son corpúsculos de origen mineral y orgánico alrededor de los cuales se realiza el paso de vapor de agua líquida en forma de gota. (Rodríguez, 2001)

## HUMEDAD

---

El punto de confort de una persona con respecto a este factor se encuentra entre 40% y 60% con respecto al volumen del aire presente en un espacio. Ya que un alto porcentaje de humedad beneficia las condiciones perfectas para la creación de enfermedades, mohos, putrefacción, intercambio de frío, y condensación. (Morillón, 2002)

Para poder regular el contenido de humedad en el interior de las edificaciones se tiene que regular primero su grado de temperatura. Esto depender de la temperatura exterior, transmitiéndose, el calor del ambiente más cálido al más frío. (Morillón, 2002)

El estudio del aire húmedo se le llama **“higrometría o psicrometría”**. Por supuesto que, de acuerdo con la regla de las fases, para especificar el estado de equilibrio en una fase homogénea de dos sustancias (aire puro y agua pura) basta conocer, además de la presión y la temperatura, una relación entre las proporciones en que se encuentran las sustancias, luego, dada una medida de la humedad, existirán relaciones que permitirán conocer las demás funciones. (Martínez, 1992)

Cuando se aumenta la humedad del aire, se llega a un límite por encima del cual esta humedad se condensa y alcanza un valor máximo, que corresponde a la concentración de saturación. Ya que, para una temperatura dada, el grado higrotérmico es la relación entre la concentración real y la concentración de saturación. (Morillón, 2002)

La oxidación de los elementos o materiales, dependerá primordialmente de la presencia de agua en el ambiente. En zonas heladas este factor lo podemos apreciar en forma de escarcha, esto debido a que las partículas de humedad presentes en el ambiente

cambian su estructura molecular a un estado sólido, mientras que, en zonas cálidas, se presenta a manera de condensación. (Olgay, 2016)

### **HUMEDAD AMBIENTAL**

---

Se define como la presencia de vapor de agua en el aire. (López, 2017)

### **HUMEDAD ABSOLUTA**

---

Se define como la cantidad de vapor de agua que contiene un volumen concreto en el aire, según una temperatura y presión determinadas. (López, 2017)

### **HUMEDAD RELATIVA**

---

Es la cantidad de gramos de agua presente en un volumen determinado de aire con la humedad absoluta máxima que puede llegar a alcanzar sin producir condensaciones, en igual condición de temperatura y presión atmosférica. (López, 2017)

Manuel Rodríguez (2001) la define como el contenido de agua en el aire. Existen diversas escalas para medirla, pudiéndose expresar como humedad relativa o humedad absoluta expresada en porcentaje de humedad que contiene el aire y la cantidad de agua necesaria para saturar a este a una misma temperatura. Se llama relativa porque el aire tiene la característica de poder retener mayor contenido de humedad a mayor temperatura. Esta se mide cuando se obtiene una relación entre el termómetro de bulbo seco y el de bulbo húmedo.

La humedad relativa es una manifestación de energía del aire (calor latente) relacionada de manera directa con la temperatura y puede afectar nuestra percepción de confort. (Rodríguez, 2001)

## PRESIÓN PARCIAL DEL VAPOR DE AGUA

---

El doctor Jacques Malchaire (2012) comenta que la humedad relativa puede definirse por algunos de estos factores:

1. **Temperatura del punto de rocío:** temperatura a la que debe enfriarse el aire para saturarse de humedad ( $t_d$ , °C)
2. **Presión parcial de vapor de agua:** parte de la presión del aire resultado al vapor de agua ( $P_a$ , kPa).
3. **La humedad relativa (HR),** se define con la siguiente formula:

$$HR = 100 \cdot P_a / P_{s,t_a}$$

NOTA:  $P_{s,t_a}$  es la presión del vapor saturado asociada a la temperatura del aire.

4. **La temperatura de bulbo húmedo ( $t_w$ ),** es la temperatura mínima que alcanza un bulbo rodeado de una mecha húmeda protegido contra la radiación y ventilado a más de 2 m/s por el aire ambiental, todos estos valores están interconectados.

La presión de saturación del vapor de agua ( $P_{s,t}$ ) a cualquier temperatura ( $t$ ) viene dada por:

$$P_{s,t} = 0.6105 \cdot e^{\left[ \frac{17.27 \cdot t}{t + 236.3} \right]}$$

La presión parcial del vapor de agua está relacionada con la temperatura por la expresión:

$$P_a = P_{s,t_w} - (t_a - t_w) / 15$$

( $P_{s,t_w}$ ) es la presión de vapor saturado a la temperatura del bulbo húmedo.

El diagrama psicrométrico (Ilustración 6) permite combinar todos estos valores.

- En el eje de las “Y”, la escala de la presión parcial del vapor de agua ( $P_a$ ), expresada en (kPa).
- En el eje de las “X”, la escala de la temperatura del aire.
- Las curvas de la humedad relativa constante.

- Las líneas rectas oblicuas de la temperatura constante de bulbo húmedo.

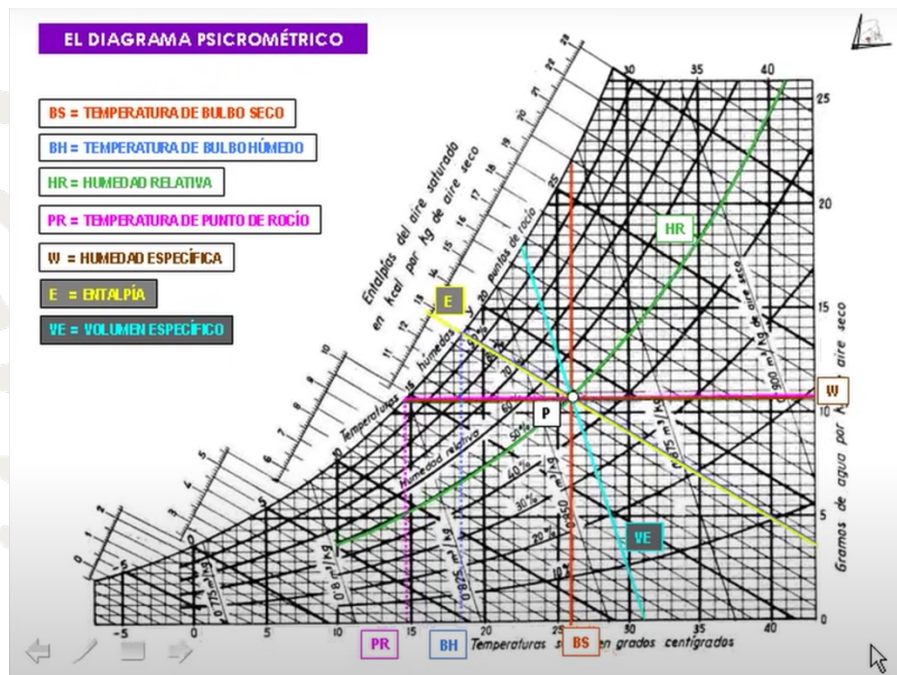


Ilustración 6.- Diagrama Psicométrico, Fuente: (GOOGLE, 2020).

## TEMPERATURA

Es un parámetro que determina la transmisión de calor de un cuerpo a otro en forma comparativa por medio de una escala termométrica “Centígrados, Kelvin y Fahrenheit. Para convertir entre las distintas escalas se utilizan las siguientes formulas (Tabla 1). (Rodríguez, 2001)

$^{\circ}\text{C} = 5/9 (^{\circ}\text{F} - 32)$	$^{\circ}\text{F} = 9/5 (^{\circ}\text{C} + 32)$
$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$	$^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{K} - 273$

Tabla 1.- Conversiones termométricas, Fuente: (Rodríguez, 2001)

Las temperaturas se miden por diversos aparatos llamados termómetros, los más usuales para temas arquitectónicos son: de bulbo seco, bulbo húmedo, globo y de máxima y mínima. (Rodríguez, 2001)



## TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO

---

María López (2003) menciona que el confort higrotérmico está conectado directamente con la temperatura del aire. Es recomendable estos valores según la temporada presente, en invierno 21 °C y en verano 26 °C, aunque se pueden aceptar pequeños cambios en relación a la humedad relativa, la acción y el tiempo de usuario. Por otra parte, es imprescindible identificar cual es la diferencia entre la temperatura húmeda y seca, así como el grado de humedad entre bulbo seco y bulbo húmedo.

## TEMPERATURA DE BULBO SECO

---

La escuela de arquitectura e ingeniería “**EADIC**” (2013) define que los parámetros principales para determinar el grado de confort de un espacio, es necesario saber el estado térmico del aire a la sombra. Es uno parámetro que nos ayuda para determinar si una persona siente frío o calor en un espacio. Esta información es reflejada en carta bioclimática (Ilustración 7) desarrolladas por Baruch Givoni. En ellas se define la zona en la cual la mayor parte de las personas se encontrarían en su zona de confort. Estos procedimientos ayudan a evaluar las condiciones térmicas de un espacio.



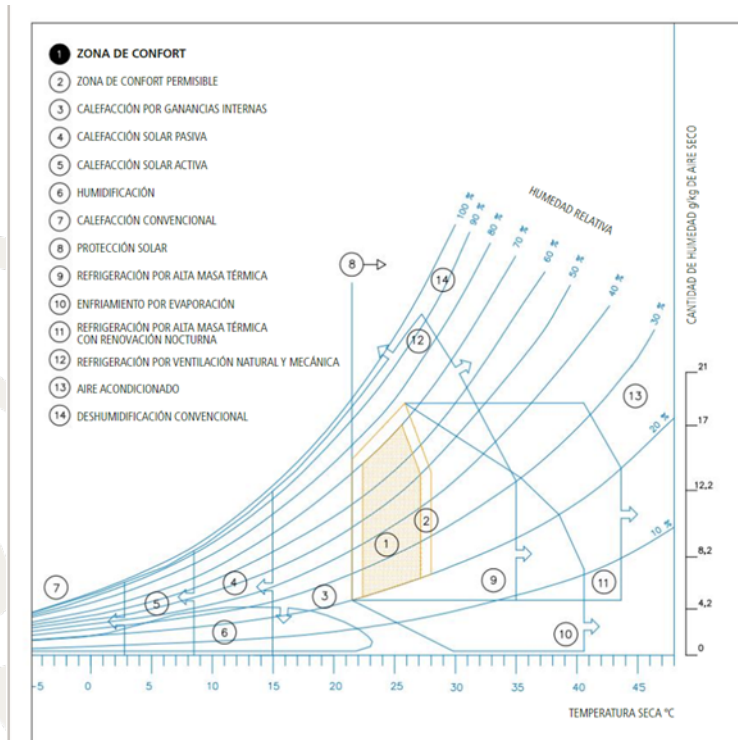
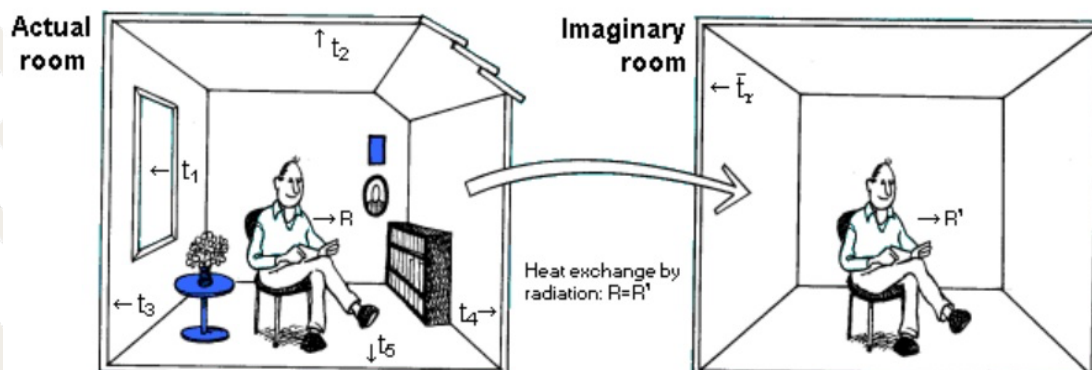


Ilustración 7.- Climograma para zonas húmedas de Baruch Givoni, Fuente: (Herrero, 2020)

### TEMPERATURA RADIANTE MEDIA

La UNE-EN 12792 lo define como la temperatura superficial teórica uniforme de un espacio en el que un usuario iguala la misma cantidad de calor radiante que el espacio (Ilustración 8). (EADIC, 2013)



Fuente: Manuel Martín Monroy, traductor: "Thermal Comfort"

Ilustración 8.- Temperatura radiante media, Fuente: (GOOGLE, 2020).

## VIENTO / AIRE

---

Álvaro López (2017) menciona que el viento es aire que se desplaza de un sitio a otro. Se origina en el calentamiento desigual de la superficie terrestre, provocando zonas de altas y bajas presiones. Estos valores de presión se representan en los mapas por medio de isobaras, señalando la existencia de zonas de baja presión (ciclones) y zonas de alta presión (anticiclones).

Los movimientos del aire pueden dividirse en categorías de vientos o brisas, según si son más o menos deseables. En épocas frías los vientos deben ser interceptados; las brisas refrescantes, sin embargo, deben aprovecharse durante periodos calurosos. (Olgyay, 2016)

Se forma por corrientes de aire producidas en la atmósfera por causas naturales. Se mide en la horizontal. El viento tiene diversos atributos que lo caracteriza, como son dirección, frecuencia y velocidad. (Rodríguez, 2001)

## VENTILACIÓN

---

La ventilación de los locales permite reducir el contenido de humedad y aumenta la sensación de frescor en climas cálidos. (López de Asiain, 2003)

Eduardo Mayorga (2018) habla sobre el reacondicionamiento pasivo de viviendas, donde se recomienda utilizar la velocidad del aire, ya que constituye un factor importante, debido a que genera flujos de aire que son utilizados para refrescar o calentar los espacios.

La velocidad del aire es una estrategia que puede utilizarse para disminuir la humedad y beneficiar la ventilación de los espacios, este factor apoya a reducir la sensación de calor a los usuarios. (Mayorga, 2018)

Cuando el viento choca contra una edificación se genera áreas de presión en la cara de contacto; el viento rodea al edificio y origina zonas de baja presión en las caras laterales y en la cara posterior. Cuando la abertura de entrada es más pequeña que la salida se incrementa la velocidad del flujo interno en un espacio. (Rodríguez, 2001)

## VELOCIDAD DEL AIRE

---

Manuel Rodríguez (2001) define que la velocidad del viento es la distancia recorrida por el flujo de viento en una unidad de tiempo. En general estas unidades son km/h o m/seg. La velocidad del viento se mide con un anemómetro.

El doctor Jacques Malchaire (2012) menciona que la velocidad del aire debe medirse sin tener en cuenta la dirección del flujo de aire. De lo contrario, la medición tendrá que realizarse en tres ejes perpendiculares (**X, Y & Z**) y calcular la velocidad global por la suma de vectores:

$$V_a = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

El rango de medida recomendado por la norma ISO 7726 se extiende de 0,05 a 2 m/s. La exactitud exigida es del 5 %. Debe medirse como el valor medio de 1 o 3 minutos.

La frecuencia es el porcentaje en que se presentó el viento de cada una de las orientaciones. Al sumar las frecuencias de todas las direcciones más los porcentajes de calma debemos tener un 100%. (Rodríguez, 2001)

Existen dos tipos de instrumentos para medir la velocidad del aire: los anemómetros de aspas giratorias y los termo anemómetros. (Malchaire, 2012)

El Dr. Víctor Armando Fuentes (1993) menciona que las sensaciones pueden ser positivas o negativas, dependiendo de la relación que exista entre la velocidad del viento con la temperatura y la humedad del lugar, así como de las condiciones de los habitantes (Tabla 2).

<b>Velocidad del aire y percepción</b>	
<b>Velocidad del aire</b>	<b>Sensación</b>
Menos de 15/18 km/h (4/5 m/s)	No se percibe
De 18 a 30 km/h (5/8 m/s)	Agradable
De 30 a 60 km/h (8/16 m/s)	Agradable con acentuada percepción
De 60 a 90 km/h (16/25 m/s)	Corriente de aire desde soportable a molesta
Más de 90 km/h (más de 25 m/s)	no soportable

Tabla 2.- Relación velocidad del aire y percepción, Fuente: (EADIC, 2013)

Al respecto Viktor Olgyay (2016) define las fronteras idóneas de la velocidad del aire se establecen por los efectos creados en el hombre. Estos efectos se pueden ver en la Tabla 3:

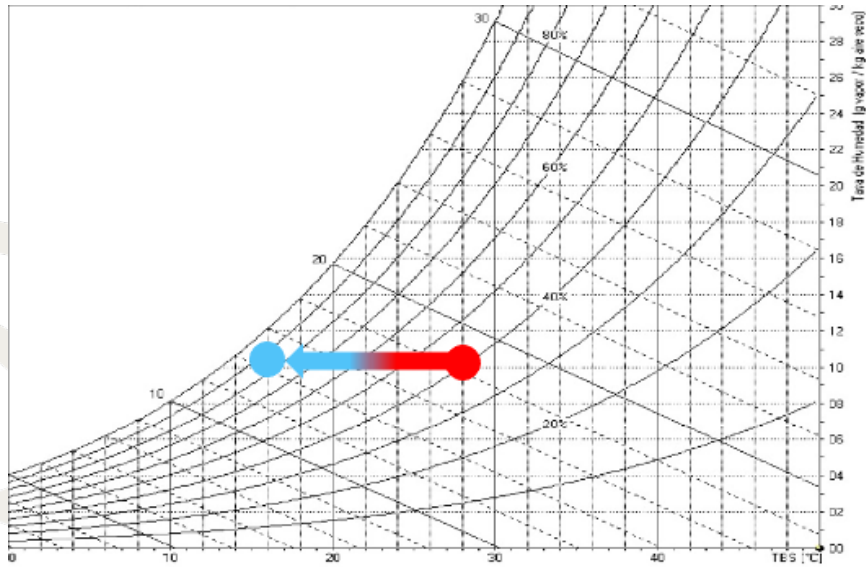
<b>Efectos del viento sobre el hombre</b>	
<b>Velocidad del aire</b>	<b>Sensación</b>
Hasta 15m/min.	Inadvertido
15 a 30m/min.	Agradable
30,5 a 61m/min.	Generalmente agradable, pero se percibe constantemente su presencia.
61 a 91m/min.	De poco molesto a muy molesto
Por encima de 91m/min	Requiere medidas correctivas si se quiere

Tabla 3.- Efectos del viento sobre el hombre, Fuente: (Olgyay, 2016)

### **ENFRIAMIENTO SENSIBLE DEL AIRE**

Consiste en enfriar aire, sin que se produzca condensación del vapor de agua presente en el mismo. Para ello es preciso que el enfriamiento llegue a una temperatura mayor que el punto de rocío, es decir, antes de cortar la curva de saturación (Ilustración 9).

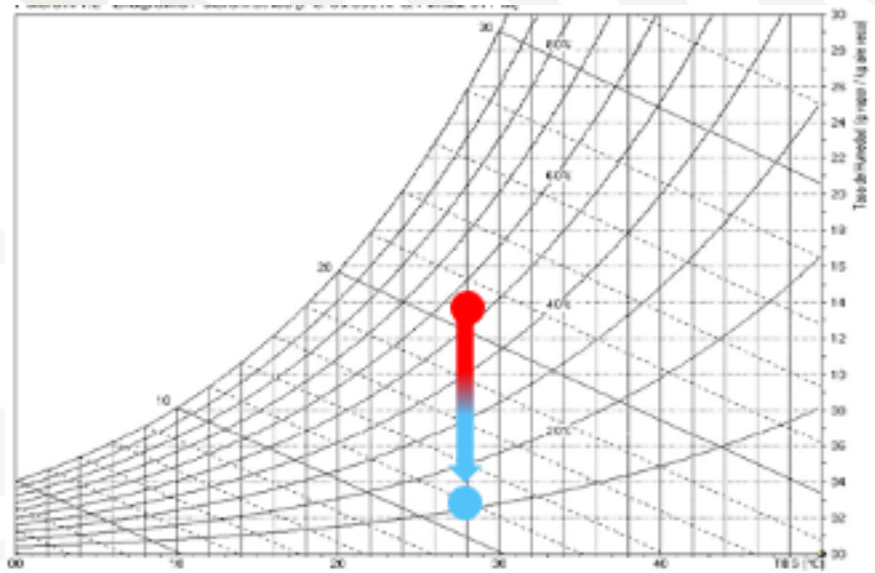




**Ilustración 9.- Proceso de enfriamiento sensible, Fuente: Propia**

### ENFRIAMIENTO LATENTE DEL AIRE

Se refiere al proceso de enfriamiento del aire al perder humedad y corresponde a la cantidad de energía requerida por una sustancia para cambiar de estado, de líquido a gaseoso o enfriamiento por evaporización, es el principio por el que el sudor enfría el cuerpo (Ilustración 10).



**Ilustración 10.- Proceso de enfriamiento latente del aire, Fuente: Propia**



---

## CUERPO HUMANO

La Organización Mundial de la Salud define el término de “**salud**” como “la situación de completo estado físico, mental y social de las personas”. (EADIC, 2013)

Según Jiménez Guzmán, José Rafael (2014) el calor, es un concepto que no se ve físicamente, pero se puede sentir. La Segunda Ley de la Termodinámica menciona, que para que exista una transferencia de un elemento a otro debe existir alguna disparidad de temperatura, y el intercambio será del que tiene mayor al que tiene menor temperatura.

El cuerpo, a través de la piel, intercambia calor con el ambiente, que no es más que aire atmosférico. El aire atmosférico está compuesto de aire seco más vapor de agua. El aire como sustancia higroscópica puede absorber humedad. Mientras menos humedad contenga el aire atmosférico, más se facilita la evaporación del agua contenida en el sudor. (Guzmán & Rafael, 2014)

Eduardo Mayorga (2018) menciona que el cuerpo humano genera energía y lo trasfiere al ambiente que lo rodea. Los mecanismos de intercambio son la **convección**, la **conducción** y la **radiación** (Ilustración 11). Y los de carácter endógeno son la evaporación (en sus dos formas; la respiración y la sudoración), y el metabolismo.

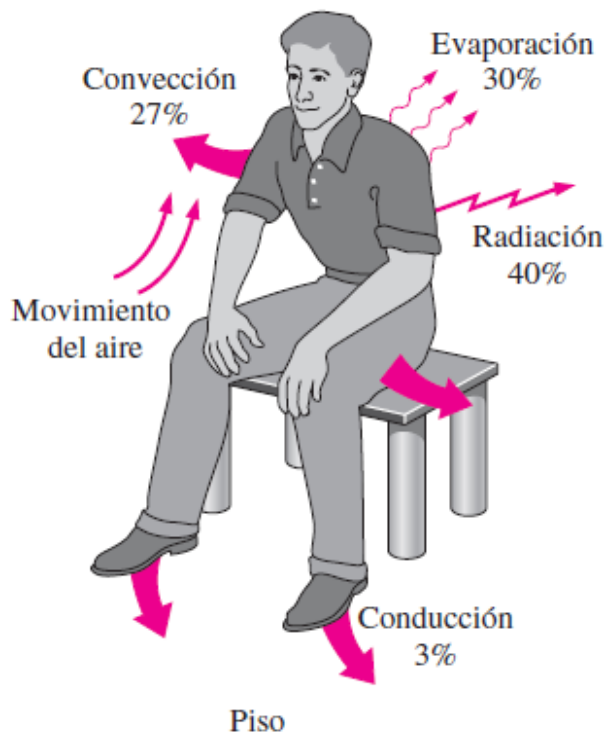


Ilustración 11.- Proceso de intercambio de calor, Fuente: (GOOGLE, 2020).

Según Soler Palau (2018) el aire en función de su **HR** influye de distinta manera a las personas, las materias y los objetos, si su Hr es muy baja tiende a extraer humedad a todo lo que toca, reseccándolo, mientras que si su Hr es muy alta (próxima a la saturación) tiende a transferir humedad a lo que circunda, humedeciéndolo.

El doctor Jacques Malchaire (2012) dice que el cuerpo humano intercambia calor con su entorno por distintas vías: **conducción** a través de las superficies en contacto con él, **convección** y **evaporación** con el aire del ambiente y **radiación** con las superficies vecinas.

**Conducción:** es la transmisión de calor entre dos sólidos que están en contacto. Los intercambios se producen entre la piel y la ropa, el calzado, los puntos de presión, herramientas, etc. (Malchaire, 2012)

**Convección:** consiste en la transferencia de calor entre la piel y el aire circundante. Si la temperatura de la piel ( $t_{sk}$ ) en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), es mayor que la temperatura del aire ( $t_a$ ), el aire en contacto con la piel se calienta y, como consecuencia, se desplaza hacia arriba.

Se establece así una circulación de aire, conocida como convección natural, en la superficie del cuerpo. El intercambio aumenta si el aire pasa sobre la piel a una cierta velocidad, ya que se fuerza la convección. El flujo de calor intercambiado por convección, “**C**”, en vatios por metro cuadrado (**W/m<sup>2</sup>**) puede estimarse con la siguiente ecuación:

$$C = h_c F_{clC} (t_{sk} - t_a)$$

- **h<sub>c</sub>** es el coeficiente de convección (**W/°C m<sup>2</sup>**), que es una función de la diferencia entre (**t<sub>sk</sub>** y **t<sub>a</sub>**) en el caso de la convección natural, y de la velocidad del aire (**V<sub>a</sub>**) en m/s en la convección forzada.
- (**F<sub>clC</sub>**) es el factor de reducción del intercambio de calor por convección debido a la ropa. (Malchaire, 2012)

**Evaporación:** Sobre todas las superficies húmedas existe una capa de aire saturado con vapor de agua. Si la atmósfera no está saturada, el vapor se difunde desde esta capa a la atmósfera. La capa tiende a regenerarse absorbiendo el calor de evaporación (0,674 vatios hora por gramo de agua) de la superficie húmeda, que se enfría. Si toda la piel está cubierta de sudor, la evaporación es máxima (**E<sub>max</sub>**) y depende sólo de las condiciones ambientales, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$E_{max} = h_e F_{pcl} (P_{sk,s} - P_a)$$

- **h<sub>e</sub>**: es el coeficiente de intercambio por evaporación (W/m<sup>2</sup> kPa)
- **P<sub>sk,s</sub>**: es la presión saturada del vapor de agua a la temperatura de la piel (expresado en kPa)
- **P<sub>a</sub>**: es la presión parcial de vapor de agua en el ambiente (expresada en kPa).
- **F<sub>pcl</sub>**: es el factor de reducción del intercambio por evaporación debido a la ropa.

**Radiación:** es la transferencia de calor entre el cuerpo y las superficies que lo rodea a través del ambiente. El flujo depende de la temperatura y cercanía que tengan las superficies a su alrededor. (Mayorga, 2018)

---

## PÉRDIDA DE CALOR POR DIFUSIÓN EN LA PIEL

La evaporación del vapor de agua a través de la piel es una parte de la transpiración insensible, un proceso no sujeto al control del sistema termorregulador. La magnitud de la difusión por unidad de área se asume como proporcional a la diferencia entre la presión parcial del vapor de agua saturada  $P_s$  en la piel y la presión parcial del vapor de agua en la atmósfera,  $P_v$  (Bredber, 1956).

La formula para poder calcular la pérdida de calor por difusión a través de la piel resulta en:

$$E_d = h_{fg} \kappa A_{Du} (P_s - P_v)$$

- $E_d$  = Pérdida de calor por difusión a través de la piel
- $h_{fg}$  = Calor latente de vaporización del agua a 35 °C
- $\kappa$  = Coeficiente de permeabilidad de la piel
- $P_s$  = Presión del vapor de agua saturado a la temperatura de la piel (mm Hg)
- $P_v$  = Presión parcial del vapor de agua a la temperatura del aire atmosférico (mm Hg)

**Nota:** El calor latente de vaporización del agua a 35 °C es de 2,418 Kjoule/kg.

---

## SISTEMAS PASIVOS

Son los sistemas utilizados dentro del diseño arquitectónico de una edificación con el fin de conseguir el confort climático de los usuarios sin tener que recurrir a la energía eléctrica sino al otro tipo de energías, las conocidas como energías limpias y renovables: energía solar, eólica, y sistemas de ventilación natural y dispositivos de protección solar. (Barranco, 2014)

Los sistemas pasivos de climatización se caracterizan por la nula dependencia de energéticos convencionales, como los de origen fósil, contribuyendo de manera contundente al ahorro y uso eficiente de los recursos no renovables. (Morillón, 2002)

---

## ESTRATEGIAS

María López de Asiain (2003) menciona que un clima “**Cálido – Subhúmedo**” se caracteriza por las altas temperaturas diurnas y nocturnas en verano y por su elevada humedad en el ambiente.

A continuación, se mencionan los aspectos más importantes que describe María López de Asiain (2003) para el desarrollo de una estrategia bioclimática en un clima “**Cálido – Subhúmedo**”:

- Se requiere de elementos de protección ante la radiación, por ejemplo “persianas, celosías, voladizos”, pero lo más importante es mantener la ventilación en los espacios para mantener la percepción de frescura.
- Para aumentar el **confort** de verano en estos climas se ha de aumentar la velocidad del aire que incide sobre los habitantes, por su efecto refrigerante directo y por el enfriamiento derivado de una evaporación más rápida del sudor.
- Las formas dispersas (poco compactadas) facilitan las posibilidades de ventilación, al mismo tiempo que aumentan la refrigeración nocturna por la mayor superficie de radiación a la bóveda celeste durante la noche.
- Las cubiertas y fachadas sobrepuestas y ventiladas ayudan a refrigerar el edificio.



## VEGETACIÓN

---

No es posible alterar el movimiento de las grandes masas de aire si está producido por diferencias en la presión del aire. Sin embargo, es posible controlar, hasta cierto punto, la velocidad del aire cuando se mueve a nivel del suelo. La vegetación baja y la obstrucción producida por la presencia de árboles originan desviaciones en el flujo del aire que pueden ser muy beneficiosas. Además de sus propiedades estéticas y su capacidad de proporcionar sombra, el valor de los árboles como cortavientos radica en su capacidad para reducir las velocidades del viento. Este efecto mecánico proporciona cambios perceptibles tanto en la temperatura como en la humedad del aire. (Olgyay, 2016)

Además de canalizar, desviar y disminuir la velocidad del viento. Tiene la función vital de regeneración de oxígeno ya que, durante el día, gracias a la acción clorofílica y de fotosíntesis, el gas carbónico se absorbe y el oxígeno se desprende. (Rodríguez, 2001)

Según María López de Asiain (2003) la efectividad de cada tipo de vegetación depende de la forma y característica de las plantas y clima. Evaluarlo es complejo y existen muy pocos datos, su impacto debe tenerse en cuenta porque, en algunos casos, absorbe el 90% de la radiación, reduce el viento en un 10% de su velocidad en terrenos libres, reducen temperaturas hasta 7 °C por debajo de la del aire y en algunas ocasiones incrementan las temperaturas por la noche.

## BENEFICIOS

---

Según Álvaro López (2017) al utilizar vegetación en los proyectos arquitectónicos se pueden obtener los siguientes beneficios:

- **Mejora la calidad del aire:** En ambientes urbanos, la existencia de vegetación mejora las condiciones del aire tanto en exterior como en interior. Las plantas y los árboles purifican el aire y almacenan contaminantes, realizando el proceso de fotosíntesis y emitiendo oxígeno a la atmósfera todos los días.

- **Protección contra el ruido y el aire:** Las formaciones o barreras vegetales, según su grosor, pueden ejercer un efecto de amortiguación del ruido, actuando como pantallas acústicas. También si existen fuertes vientos o moderados, o simplemente se desea minimizar la pérdida de calor dentro del hogar, se aconsejan colocar árboles para reducir la acción de estos vientos.
- **Beneficios térmicos:** Regulan la temperatura, reducen el efecto isla térmica y aíslan térmicamente. En entornos cálidos, pueden refrescar la temperatura del ambiente. Aísla térmicamente y protege de la radiación solar

### PLANTA EPÍFITAS

---

Tania Saldaña, Juan Jesús Juárez y Constantino Villar (2014) hablan sobre la evolución y adaptación a las diversas condiciones ambientales en particular las plantas han desarrollado diferentes estrategias para su sobrevivencia, entre las que se encuentran diversas formas de vida, por ejemplo, a las plantas que crecen en ambientes acuáticos, se les conoce como hidrófitas; las que habitan en lugares muy húmedos se les llaman higrófitas; a las que viven en suelos con alta concentración de sales se les conoce como halófitas; a las que viven en ambientes secos se les denomina xerófitas; sin embargo, y por alguna razón, existen unas plantas que abandonaron los hábitats terrestres para adaptarse y vivir sobre otras plantas, obteniendo del medio atmosférico y gracias a sus autoadaptaciones, los recursos para desarrollarse; por ello se les nombró plantas “**epífitas**”, término derivado del griego “**epi**” que significa sobre y “**phyte**” planta, que se traduce como plantas que crecen arriba de otra. Ejemplos de plantas epífitas son la mayoría de las orquídeas, bromelias, **helechos**, musgos y hepáticas.

## HELECHO NEPHROLEPIS EXALTATA

Se consideran que los Helechos tipo **Nephrolepis Exaltata** (Ilustración 12), son una especie de plantas de la familia **Lomariopsidaceae**, localizados principalmente en las regiones tropicales (Ilustración 13). Se pueden encontrar con facilidad adosadas en árboles, rocas o elementos que les funcione como soporte en los bosques húmedos, ríos y pantanos.



Ilustración 12.- Helecho Nephrolepis Exaltata, Fuente: (GOOGLE, 2020)

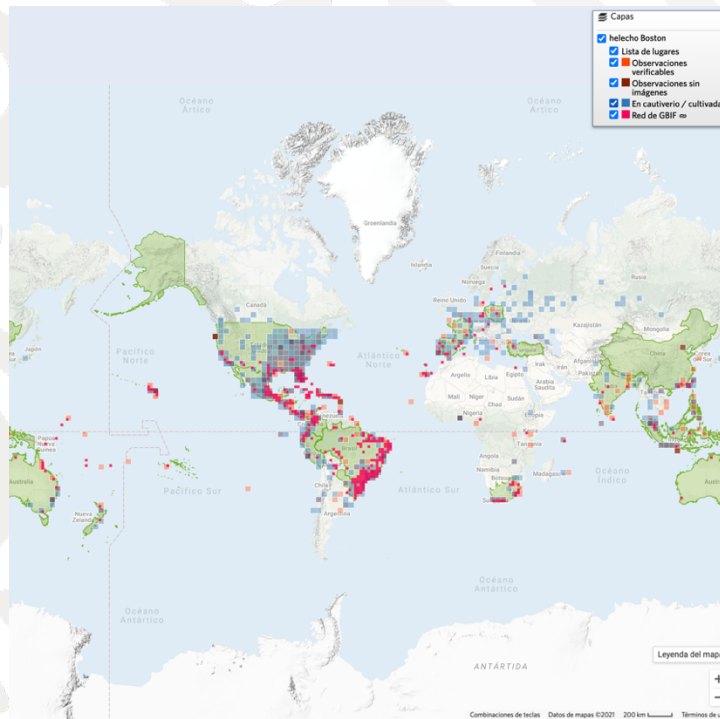


Ilustración 13.- Regiones donde se han localizado Helechos Nephrolepis Exaltata, Fuente: (Naturalista, 2021)

---

## EQUIPOS DE MEDICIÓN

En este capítulo se describen los posibles equipos a utilizar durante la fase experimental, dichos equipos serán facilitados por el Dr. Ing. Jorge Armando Ojeda Sánchez, Doctor investigador de la Facultad de Arquitectura y Diseño, en la Universidad de Colima.

- Sensores **U12**
- Sensor **UX190**

## MARCO NORMATIVO

Toda Investigación Científica, cuenta con normativas relacionadas con la ética que se ocupan de evaluar los elementos o principios vinculados con las buenas prácticas en la investigación y formular criterios que permitan justificar las reglas y juicios que se presenten acerca de lo que es considerado correcto, logrando establecer un criterio final de conducta que pueda ser aceptado.

Para cumplir con estándares internacionales y lograr que el estudio sea válido y reproducible a escala global se tomaron en cuenta normas nacionales e internacionales vigentes. Las entidades que emiten y verifican dichas normas son la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM por sus siglas en ingles) y la Organización Internacional de Estandarización (ISO por sus siglas en ingles).

Durante la fase de desarrollo normativo, se realizó una búsqueda de información que fuesen de apoyo o respaldo para el trabajo de tesis.

Para un fácil entendimiento de la normatividad, se realizó una clasificación en base a origen **Nacional e Internacional** (Tabla 4), así como su aplicación en las áreas de **Diseño, Confort y Análisis Térmico** (Tabla 5).

<b>Clasificación de normas según su origen</b>	
<b>Clasificación</b>	<b>Normas</b>
<b>Nacionales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NOM 020 ENER.</li> <li>• NMX-C-7730-ONNCCE-2017</li> <li>• NMX-C-210-ONNCCE-2013</li> <li>• NMX-C-228-ONNCCE-2013</li> <li>• NMX-C-443-ONNCCE-2006</li> </ul>
<b>Internacionales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C 168 - Standard Terminology Relating To Thermal Insulation.</li> <li>• C 1046 - Standard Practice For In-Situ Measurement Of Heat Flux And Temperature On Building Envelope Components</li> <li>• ANSI/ASHRAE 55-2010. Condiciones Térmicas Ambientales Para Ocupación Humana.</li> <li>• BS EN 15251:2007. Parámetros Ambientales Interiores De Entrada Para El Diseño Y Evaluación Del Desempeño Energético De Edificios Dirigido A La Calidad Del Aire Interior, Ambiente Térmico, Iluminación Y Acústica.</li> <li>• ISO 7730:2005 Estimación Del Confort Térmico Con PMV Y PPD Y Criterios Locales.</li> <li>• ISO 7730 Ergonomía Del Ambiente Térmico.</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ISO 17772-1 Desempeño Energético De Edificios-Calidad Ambiental Interior.</li> <li>• ISO 9920 Ergonomía Del Ambiente Térmico.</li> <li>• ISO 13790 Eficiencia Energética De Los Edificios.</li> </ul>
--	--

Tabla 4.- Clasificación de normas según su origen, Fuente: Propia.

Clasificación de normas según su aplicación	
Clasificación	Normas
<b>Confort</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C 168 - Standard Terminology Relating To Thermal Insulation.</li> <li>• ISO 7730:2005 Estimación Del Confort Térmico Con PMV Y PPD Y Criterios Locales.</li> <li>• ISO 9920 Ergonomía Del Ambiente Térmico.</li> <li>• NOM 020 ENER.</li> <li>• NMX-C-7730-ONNCCE-2017</li> </ul>
<b>Análisis Térmico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C 1046 - Standard Practice For In-Situ Measurement Of Heat Flux And Temperature On Building Envelope Components.</li> <li>• C1155 – Standard Practice For Determining Thermal Resistance Of Building Envelope Components From The In-Situ Data.</li> <li>• ANSI/ASHRAE 55-2010. Condiciones Térmicas Ambientales Para Ocupación Humana.</li> <li>• ISO 13790 Eficiencia Energética De Los Edificios.</li> <li>• NMX-C-210-ONNCCE-2013</li> </ul>

<p style="text-align: center;"><b>Diseño</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BS EN 15251:2007. Parámetros Ambientales Interiores De Entrada Para El Diseño Y Evaluación Del Desempeño Energético De Edificios Dirigido A La Calidad Del Aire Interior, Ambiente Térmico, Iluminación Y Acústica.</li> <li>• ISO 7730 Ergonomía Del Ambiente Térmico.</li> <li>• ISO 177772-1 Desempeño Energético De Edificios- Calidad Ambiental Interior.</li> </ul>
--	--

**Tabla 5.- Clasificación de normas según su aplicación, Fuente: Propia.**

Aparte de la clasificación previamente mencionada, entre normas existe relaciones directas que se apoyan entre sí, por ejemplo, tenemos el caso de la norma **“C 168”** y la norma **“C1155”**, ambas tratan sobre el aislamiento térmico que se debe de tener para el análisis experimental y muy relacionado a estas dos tenemos la norma **“C 1046”**, dicha norma necesita de un previo aislamiento térmico para poder entrar en función de análisis.

Sin embargo, entre las normas **“ANSI/ASHRAE 55-2010, ISO 7730:2005** y la **ISO 7730”**, se ve una relación directa por que las tres están enfocadas principalmente en el confort de los espacios, así como las posibles afectaciones que se pueden llegar a tener al momento de diseñar un prototipo experimental.

De igual manera, entre las normas ISO 177772-1, ISO 9920, ISO 13790 y la NOM 020 ENER, su relación es directa por el enfoque que se le da en materia de eficiencia energética.

Al final tenemos que en la norma NMX-C-7730 que está enfocada a la ergonomía del espacio, así como su confort térmico que se pueda generar, considero que existe una relación de apoyo con las normas NMX-C-210, NMX-C-228 y NMX-C-443, ya que considero que estas normas van enfocadas principalmente a la humedad relativa en el ambiente y las posibles afectaciones que genera.

Para concluir este análisis de normatividad considero que entre ellas siempre existirá una coherencia de aplicación o relación, ya que algunas normas fungirán como

complemento de otras con la finalidad de poder generar un instrumento de evaluación coherente ante el mercado.

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGÍA

En este capítulo se describe el proceso mediante el cual se busca dar respuesta a la pregunta de investigación y poder sustentar la hipótesis planteada en el “**CAPITULO 1**”.

Jesús Alberto Licón (2018) define que el método es el modo de abordar un problema. En la investigación científica se refiere al conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas y cuya finalidad es obtener conocimiento verificable y objetivo.

Apoyándonos en el modelo experimental de la tesis doctoral del Dr. Arq. Carlos Javier Esparza (2015), la metodología de este trabajo se dividió en tres fases generales (Figura 1). La primera fase describe todas las características del estudio, el tipo de enfoque y estudio, diseño metodológico, población & muestra y las variantes que intervienen en el desarrollo experimental. La segunda fase habla sobre las características experimentales, el sitio donde se desarrolla el experimento, el periodo experimental, equipos y materiales utilizados, fabricación de los módulos, prueba pre-experimental y piloto. En la tercera fase se describe los resultados obtenidos de las pruebas realizadas, (Figura 2).



Figura 1.- Clasificación de fases metodológicas, Fuente: Propia

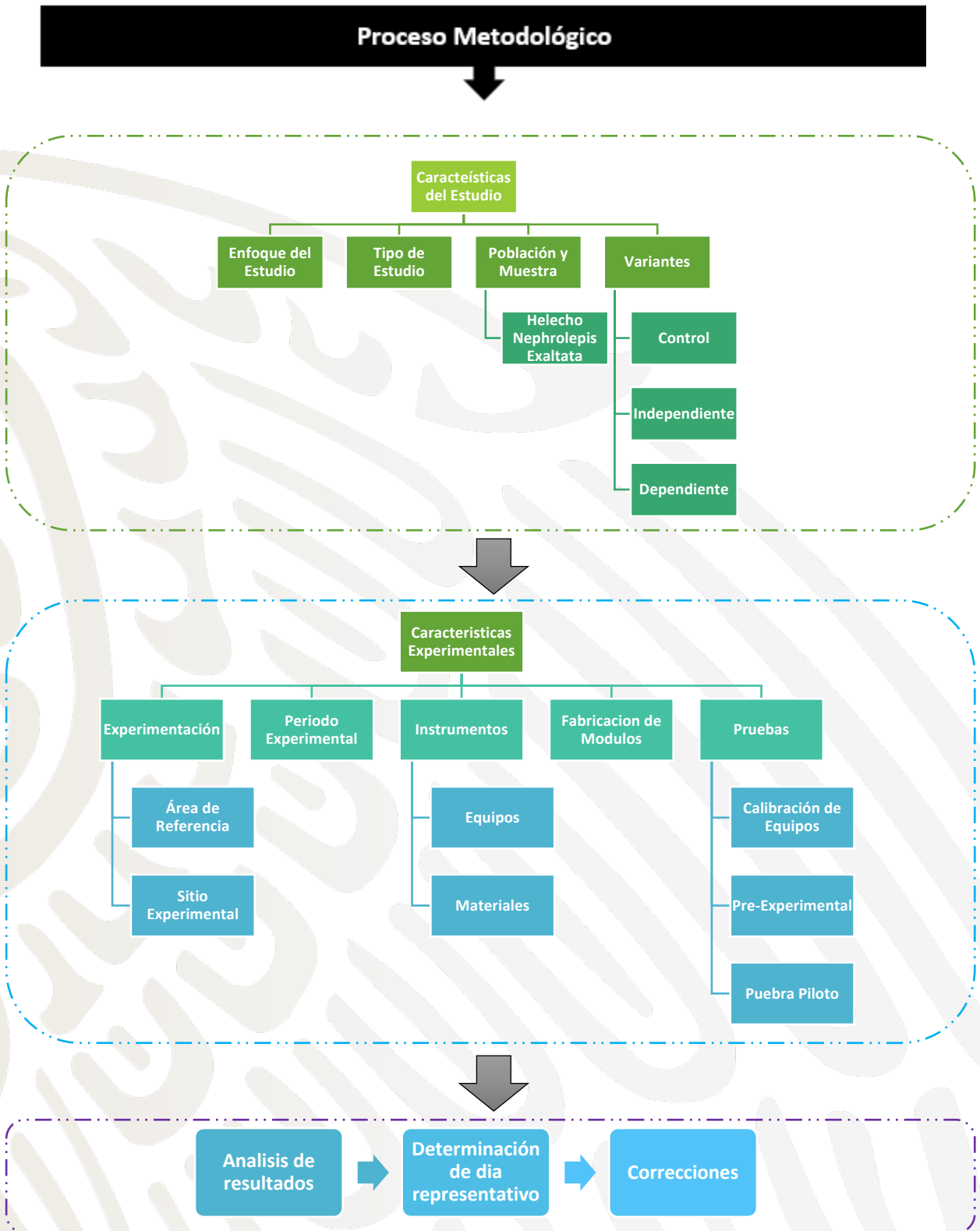


Figura 2.- Diagrama de proceso metodológico, Fuente: Propia



## CARACTERÍSTICAS DE LA INVESTIGACIÓN

Alexánder Sánchez (2011) menciona que la caracterización, desde la perspectiva de la investigación, es una fase descriptiva con fines de identificar entre otros aspectos, los componentes, acontecimientos, actores, procesos y contexto de una experiencia, un hecho o un proceso.

Elsy Bonilla, Jimena Hurtado & Christian Jaramillo (2011) mencionan que la caracterización es un tipo de descripción cualitativa que puede hacer uso de datos cualitativos o cuantitativos con el fin de profundizar sobre el conocimiento de algo. Para cualificar ese algo, previamente se debe identificar y organizar los datos, a partir de ello, describir de una forma estructurada, posteriormente, establecer su significado. En esta primera sección se identifican y presentan los elementos que conformaron el estudio, y que permitirán la comprensión, el análisis y la comparación de la información que resulte del experimento.

---

## ENFOQUE Y TIPO DE ESTUDIO

Roberto Hernández, Carlos Fernández y Pilar Baptista (2010) mencionan que el tipo de estudio tiene como propósito responder a la pregunta de investigación, cumplir con los objetivos del estudio y someter la hipótesis a prueba.

El enfoque utilizado para desarrollar este estudio fue de tipo **“cuantitativo”**, dicha selección se basó en el tipo de pregunta, hipótesis y objetivos. Roberto Hernández (2010) menciona que este tipo de enfoques *“usa la recolección de datos para probar la hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con la finalidad de establecer patrones de comportamiento y probar teorías”* y de esta forma se evita tener subjetividad en los resultados obtenidos.

De acuerdo a Roberto Hernández (2010) los estudios explicativos “*están a responder causas de los eventos físicos. Sus intereses se centran en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da este, o por qué dos o más variables están relacionadas*”.

John Creswell (2014) habla sobre los estudios cuantitativos y como adoptan una estrategia sistemática, objetiva y rigurosa para generar y refinar el conocimiento; para lograrlo hace uso de diferentes métodos. Los estudios que se realizan con información cuantitativa, son desarrollados generalmente a través de métodos de investigación experimental, cuasi experimental y no experimental.

Mario Tamayo (2002) define al estudio de enfoque “**cuantitativo**” como investigación de tipo “**correlacional**” y se refiere a aquella que busca determinar el grado en el cual las variaciones de uno o varios factores están relacionados con la variación en otros factores.

Por lo tanto, los tipos de investigación que se considerando para el desarrollo de este trabajo fueron de carácter “**exploratoria (investigación), experimental (comprobación) y correlacional (comparativa de datos)**” (Figura 3). Ya que se estuvieron trabajando en mediciones numéricas y análisis comparativo, siguiendo un método de experimentación en el que se trató de controlar la mayor cantidad de variables posibles para evitar posibles alteraciones en los datos obtenidos.



Figura 3.- Proceso de investigación, Fuente: Propia.

---

## DISEÑO METODOLÓGICO

Para el desarrollo metodológico, fue necesario establecer la línea de diseño a seguir, basado en tres preguntas “¿Qué?, ¿Dónde y ¿Cómo? (Figura 4). Dicho cuestionamiento apoyó a estructurar el proceso de diseño experimental.

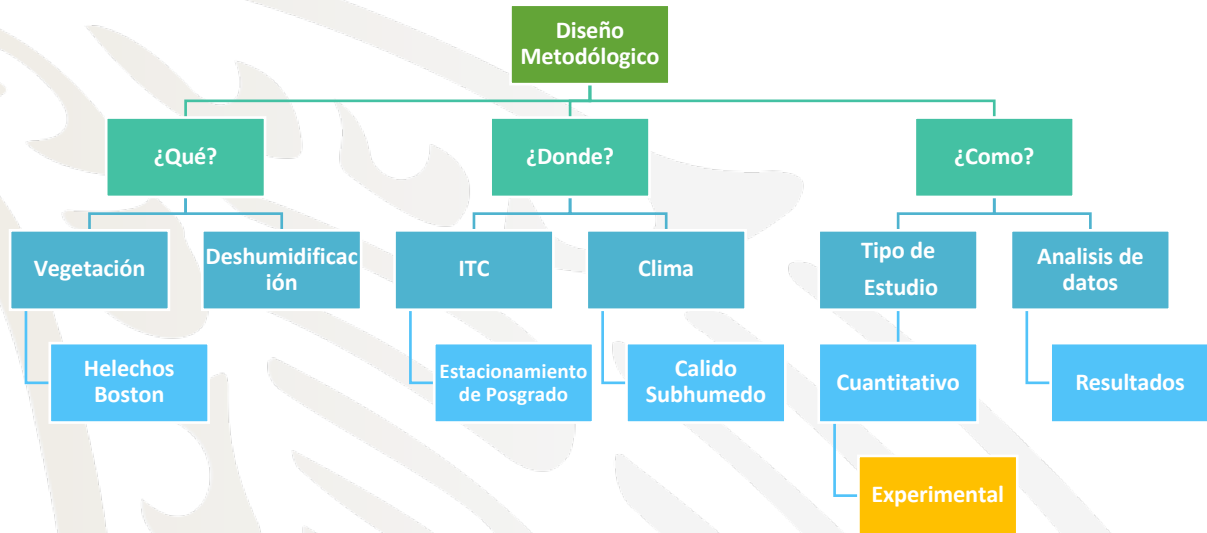


Figura 4.- Proceso de diseño metodológico, Fuente Propia.

## POBLACIÓN Y MUESTRA

- Helechos Nephrolepis Exaltata

## DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES

Las variables analizadas en esta investigación se consideran de tipo cuantitativa, esto debido a que no se permite la percepción que pudiera llegar a tener el investigador. Las variables a utilizar se clasifican en variable de “**control, Independiente y dependiente**”.

---

### VARIABLE DE CONTROL

Se definen como un tipo de variables independientes con la característica de que no es posible manipular deliberadamente, solo se pueden monitorear o medir. Para este estudio se tomaron en cuenta las siguientes variables **“velocidad del viento, dirección del viento, humedad relativa, temperatura de bulbo seco y húmedo”**.

---

### VARIABLE INDEPENDIENTE

Son aquellas variables que se pueden manipular por parte del investigador y que afectan en cierto grado las variables dependientes. Para este estudio se tomaron en cuenta las siguientes variables **“dimensiones de los módulos, separación de los módulos, vegetación”**.

---

### VARIABLE DEPENDIENTE

Son aquellas variables que están correlacionadas con las variables independientes. Para este estudio se tomaron en cuenta las siguientes variables **“temperatura superficial exterior e interior, humedad relativa”**.

Dichas variables se clasifican en la siguiente tabla (Tabla 6):

Variable de Control	Variable Independiente	Variable Dependiente
Velocidad de Viento	Dimensiones de módulos	Temperatura superficial exterior
Dirección del viento	Separación de Módulos	Temperatura superficial interior
Humedad relativa	Vegetación	Humedad relativa
Temperatura de bulbo seco		
Temperatura de bulbo húmedo		

Tabla 6.- Clasificación de las variantes, Fuente: Propia

## DISEÑO EXPERIMENTAL

### UNIVERSO DE ESTUDIO

Para iniciar a describir el área de referencia donde se desarrolló el proceso experimental, se tiene que hablar de ciertas características que van correlacionadas con el proceso de estudio como lo es la temperatura media anual, así como la clasificación de los climas según las regiones.

### COLIMA

La Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2016) realizó un estudio del estado de Colima donde lo caracteriza por ser uno de los más pequeños del país, con una extensión aproximada de 5543 Km<sup>2</sup> (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA, 2015). A pesar de comprender 0.3% de la superficie de México, su fisiografía y climas facilitan la presencia de una importante diversidad de ecosistemas en los que habitan gran variedad de organismos. Colima se caracteriza por su importante



exposición a fenómenos naturales, como sismo, actividad volcánica y huracanes, los cuales pueden tener un impacto sobre la biodiversidad estatal.

Por su posición colindante con el océano Pacífico el clima predominante es cálido subhúmedo, presente en la zona costera y el valle de Tecomán; sin embargo, éste cambia a un clima semiseco, eso en la transición de la llanura costera hacia la sierra, donde disminuye la temperatura al alcanzar mayores altitudes en el volcán de Colima, generando un clima templado. La precipitación anual es cercana a los 1000 mm, con temperaturas promedio de 26° C. (INEGI, 2015)

Sus límites son el estado de Jalisco al oeste y noreste, el estado de Michoacán al este y el océano Pacífico al sur. Cuenta con una población 705,095 habitantes (INEGI, 2015), distribuidos en 1,273 localidades y concentradas en 10 municipios: Colima, manzanillo, Tecomán, Villa de Álvarez, Armería, Cuauhtémoc, Comala, Coquimatlán, Minatitlán e Ixtlahuacán (Ilustración 14). (Velasco, 2005)

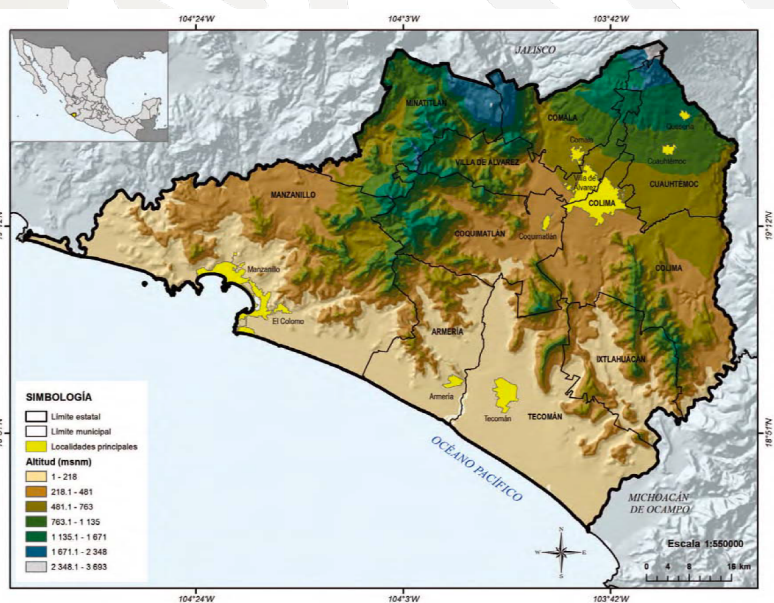


Ilustración 14.- Localización y sus 10 municipios, Fuente: (Velasco, 2005)

## CLIMA

---

Debido a su posición geográfica, principalmente a su colindancia con el océano pacífico y a la influencia de corrientes de aire marítimos, el clima predominante en la entidad es cálido subhúmedo con lluvias en verano A(W), aunque existe una diversidad climatológica que a continuación se describe (Tabla 7). (Velasco, 2005)

Clima	Símbolo	Superficie del Estado (%)
Cálido subhúmedo con lluvias en verano	A(W)	78.80
Semicálido subhúmedo con lluvias en verano	AC(W)	7.80
Templado subhúmedo con lluvias en verano	C(W)	2.00
Semifrío subhúmedo con lluvias en verano	C€(W)	0.60
Semiseco muy cálido y cálido	BS(h)	10.80

Tabla 7. Climatología, Fuente: (INEGI, 2015)

De acuerdo con el promedio de los últimos 25 años, la temperatura media anual varía, desde una temperatura mínima que oscila de 5 °C a una máxima de 40 °C, con temperaturas medias de 26 °C, mientras que la evaporación media anual oscila entre 1317.5 mm<sup>3</sup>, mientras que la evapotranspiración oscila entre los 700 a 1,200 mm al año. (CONABIO, 2016)

## **HIDROGRAFÍA**

---

Los acuíferos expulsan a la atmósfera volúmenes considerables de agua por evaporación, en las áreas en que los niveles freáticos se encontraban aflorando a menos de dos metros de la superficie del terreno; específicamente esta forma de descarga se manifestaba en las inmediaciones de la costa y en el área lacustre. (CONABIO, 2016)

## **DIVERSIDAD DE ECOSISTEMAS**

---

México es un país con alta riqueza florística; se ha calculado que aproximadamente 10% de los géneros y 62% de las especies son endémicas. El mayor número de especies de plantas, en México, corresponden a las angiospermas (Plantas con flores). (CONABIO, 2016)

En el estado se presentan siete zonas ecológicas. Predominando las áreas cálidas subhúmedas asociadas a los elementos tropicales; también zonas templadas subhúmedas y frías, vinculadas con áreas de serranía y volcanes, que se elevan a gradientes de más de 2800 msnm (metros sobre nivel del mar); asimismo, se presentan zonas humedales y zonas de suelo halo-gipsófilo, que responden a ciertos factores limitantes del sustrato, como la presencia de agua, sales o minerales. (CONABIO, 2016)

## **LOCALIZACIÓN DE ESCENARIO EXPERIMENTAL**

---

El sitio seleccionado para realizar el proceso experimental, se encuentra ubicado en el municipio de Villa de Álvarez, en el estado de Colima (Ilustración 15).



**Ilustración 15.- Localización del municipio de Villa de Álvarez en el estado de Colima, Fuente: (GOOGLE, 2020)**

El sitio específico donde se desarrolló el proceso experimental se localiza enfrente del estacionamiento del área de Posgrados en el **Instituto Tecnológico de Colima (ITC)** (Ilustración 16) ubicado en Avenida Tecnológico 1 A.P. 10 y 128, Villa de Álvarez, 28976 Villa de Álvarez, Col., y su ubicación geográfica es 19°15'42.1" latitud Norte y 103°43'22.3" longitud oeste.





**Ilustración 16.- Localización del sitio experimental ITC, Fuente: (GOOGLE , 2020)**

Con base a las necesidades experimentales y la carencia de módulos experimentales en el ITC, se tuvo que realizar un análisis de las áreas disponibles cercanas de la zona de Posgrados, para determinar el sitio correcto. Para la selección de la zona experimental se contemplaron los siguientes puntos:

- Un área la cual no afecta en la circulación de las personas o automóviles y que pueda ser delimitada con cinta preventiva para evitar el acercamiento a los módulos experimentales.
- Suficiente para poder fabricar 2 módulos experimentales de 1.00 x 1.00 x 1.00 m., con una separación entre ellos de 0.50 m., fabricados con placas de yeso.
- Toma de corriente eléctrica cerca del área, la cual se utilizaría para conectar los sensores.



- Área cubierta o semi cubierta para minimizar la incidencia solar hacia los módulos experimentales.
- Con un flujo de aire constante.

Una vez realizado el análisis de las zonas cercanas al área de Posgrados, se determinó un sitio el cual cumplía con las condiciones antes mencionadas para el desarrollo de los módulos y la experimentación correspondiente (Imagen 1).



**Imagen 1.- Ubicación de sitio experimental, Fuente: Propia.**

El área seleccionada para la colocación de los módulos experimentales cuenta con las características necesarias, como es el espacio suficiente, se encuentra con sombra a lo largo del día e instalación eléctrica cercana.

---

## SOFTWARE PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS Y SU INTERPRETACIÓN

Para la obtención de los datos que recopilaran los sensores a utilizar, se estará apoyando en una serie de programas específicos los cuales brindaran herramientas para tener la información tangible y la traducción de esos datos obtenidos.

El primer programa sé que estará utilizando el cual permitirá obtener los datos registrados por los sensores será el **Hoboware** (Ilustración 17), programa desarrollado por la marca ONSET.



**Ilustración 17.- Programa para obtener los datos de los sensores Hoboware, Fuente: Propia.**

Este programa tiene la opción de arrojar los datos de manera gráfica y numérica. La primera opción mostrando una ilustración grafica de los datos obtenidos (Ilustración 18), con base a las condicionantes programadas. La segunda opción es de manera numérica en un formato de salida de **“xlsx”**, formato el cual puede ser abierto en el programa de Excel (Ilustración 19).

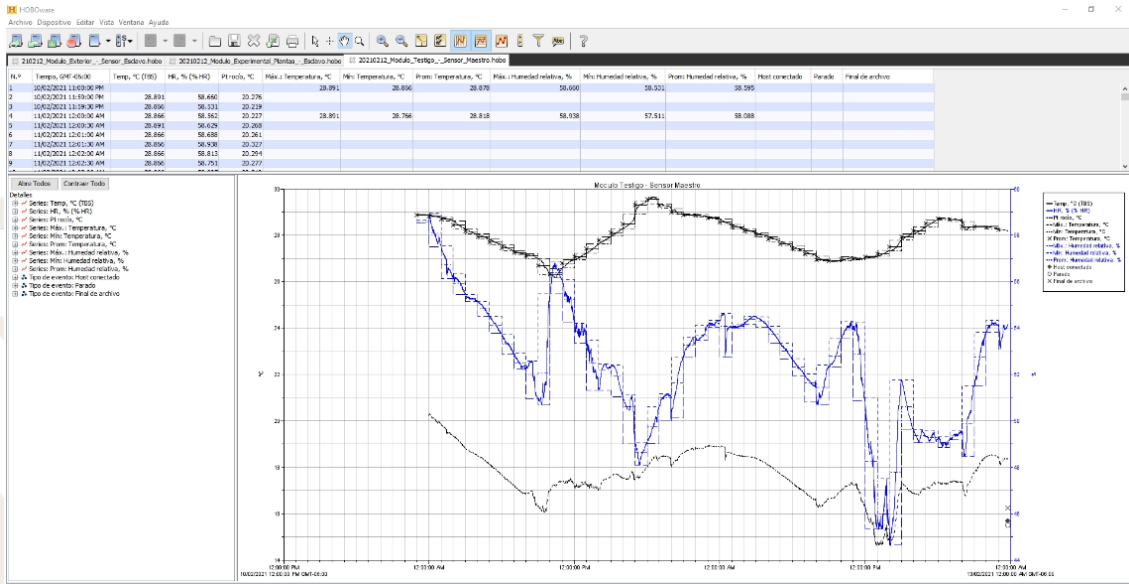


Ilustración 18.- Grafica del programa Hoboware, Fuente: Propia

N.º	Fecha Tiempo, GMT-06:00	Temp, °C	(LGR S; Pt rocío, °C)	(Máx.; Tempe Min; Temper Prom; Temp; Máx.; Hume; Min; Humed; Prom; Hume; Host conecta; Parado)	(LGR Final de archivo)	(LGR S/N: 9909984)							
1	02/10/2021 23:00	28.891	58.66	20.276	28.891	28.866	28.878	58.66	58.531	58.595			
2	02/10/2021 23:59	28.891	58.66	20.276									
3	02/10/2021 23:59	28.866	58.531	20.219									
4	02/11/2021 00:00	28.866	58.562	20.227	28.891	28.766	28.818	58.938	57.511	58.088			
5	02/11/2021 00:00	28.891	58.629	20.268									
6	02/11/2021 00:01	28.866	58.688	20.261									
7	02/11/2021 00:01	28.866	58.938	20.327									
8	02/11/2021 00:02	28.866	58.813	20.294									
9	02/11/2021 00:02	28.866	58.751	20.277									
10	02/11/2021 00:03	28.866	58.907	20.319									
11	02/11/2021 00:03	28.866	58.845	20.302									
12	02/11/2021 00:04	28.866	58.813	20.294									
13	02/11/2021 00:04	28.866	58.751	20.277									
14	02/11/2021 00:05	28.866	58.688	20.261									
15	02/11/2021 00:05	28.866	58.625	20.244									
16	02/11/2021 00:06	28.866	58.719	20.269									
17	02/11/2021 00:06	28.866	58.719	20.269									
18	02/11/2021 00:07	28.866	58.594	20.235									
19	02/11/2021 00:07	28.866	58.656	20.252									
20	02/11/2021 00:08	28.866	58.562	20.227									
21	02/11/2021 00:08	28.866	58.531	20.219									
22	02/11/2021 00:09	28.866	58.625	20.244									
23	02/11/2021 00:09	28.866	58.531	20.219									
24	02/11/2021 00:10	28.841	58.465	20.177									
25	02/11/2021 00:10	28.841	58.465	20.177									
26	02/11/2021 00:11	28.866	58.5	20.21									
27	02/11/2021 00:11	28.841	58.496	20.186									
28	02/11/2021 00:12	28.866	58.468	20.202									
29	02/11/2021 00:12	28.866	58.468	20.202									
30	02/11/2021 00:13	28.841	58.37	20.152									
31	02/11/2021 00:13	28.841	58.402	20.161									
32	02/11/2021 00:14	28.841	58.339	20.144									
33	02/11/2021 00:14	28.841	58.37	20.152									
34	02/11/2021 00:15	28.841	58.339	20.144									
35	02/11/2021 00:15	28.841	58.276	20.127									
36	02/11/2021 00:16	28.841	58.37	20.152									

Ilustración 19.- Datos numéricos arrojados por el programa Hoboware, Fuente: Propia

---

## EQUIPOS E INSTRUMENTOS

En esta fase se presentan los instrumentos utilizados para el desarrollo experimental, así como sus características principales.

Como se mencionó en el capítulo 2 de este trabajo, los modelos de equipos a utilizar en la fase experimental serán 3 sensores **U12** y 1 sensor **UX190**, dichos sensores, serán prestados por parte del Dr. Ing. Jorge Armando Ojeda Sánchez, Doctor investigador de la Facultad de Arquitectura y Diseño, en la Universidad de Colima.

Para entender el funcionamiento de cada sensor, se tiene que definir 3 conceptos generales con los cuales operan **“rango de operación, precisión y resolución”**

Antonio Creus (2011) menciona que el **rango de operación** o **campo de medida (range)** es el espectro o conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida, de recepción o de transmisión del instrumento. Viene expresado estableciendo los dos valores extremos. Esto se define como el rango máximo que el equipo puede llegar a medir.

Alan Morris & Reza Langari (2012) definen el concepto de **precisión** como un término que describe el grado de libertad de un instrumento frente a errores aleatorios. Por otra parte, Antonio Creus (2011) la define como la cualidad de un instrumento por la que tiende a dar lecturas muy próximas unas a otras, es decir, es el grado de dispersión de las mismas.

Antonio Creus (2011) define el concepto de **resolución** como la menor diferencia de valor que el instrumento puede distinguir. En los **instrumentos analógicos** interviene el operador según donde observe la posición de la aguja, su error de paralaje en la lectura efectuada y la distancia entre los valores marcados en la escala. En los **instrumentos digitales**, la resolución es el cambio de valor de la variable que ocasiona que el dígito menos significativo se modifique.

Para el desarrollo experimental y monitoreo de variables mencionadas con anterioridad, se utilizaron distintos equipos, los cuales se describen a continuación:

---

### SENSOR U12-12

Para monitorear las variantes de temperatura de bulbo seco, húmedo, se utilizó sensores datalogger modelo **U12-012** de la marca Onset (Ilustración 20). Este sensor fue utilizado al interior de los módulos experimentales, así como en la estación de monitoreo que se colocó al exterior del sitio experimental.



Ilustración 20.- Datalogger U12-012, Fuente: (ONSET, 2020)

Estos sensores fueron programados para obtener datos precisos en un intervalo de tiempo de 1 minuto (Ilustración 21).



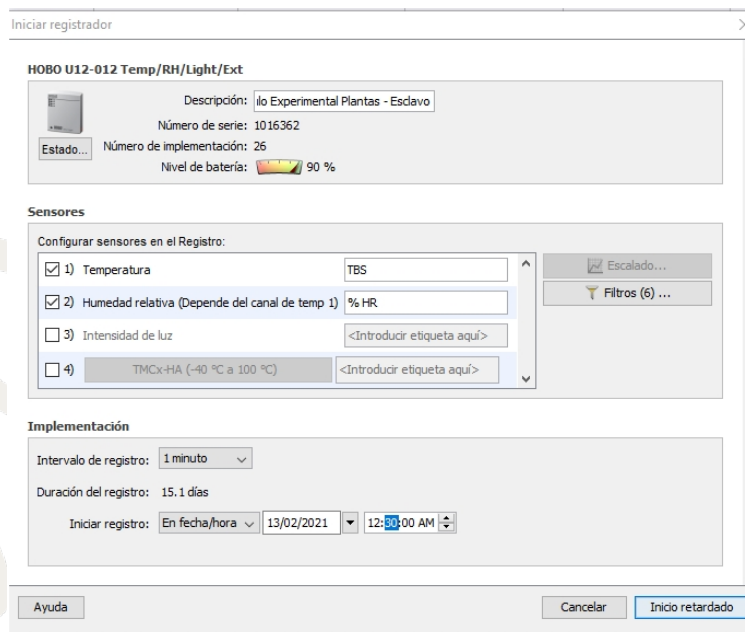


Ilustración 21.- Programación de sensor de temperatura, Fuente: Propia

## ESPECIFICACIONES

---

- **Tasa de muestreo:** 1 segundo a 18 horas (seleccionable por el usuario mediante software)

### Temperatura:

- **Rango de operación:** -20 ° C a 70 ° C
- **Precisión:**  $\pm 0.35$  ° C @ 0 ° C a 50 ° C
- **Resolución:** 0.03 ° C @ 25 ° C

### Humedad

- **Rango:** 5% a 95% HR
  - **Precisión:**  $\pm 2.5\%$  (10% a 90% HR)
  - **Resolución:** 0.03%
  - **Deriva HR:** <1% por año típico; Histéresis HR 1%
-

## Intensidad de luz

- **Rango:** de 1 a 3000 candelas (lúmenes / pie<sup>2</sup>)
- **Valor máximo típico:** 1500 a 4500 candelas (lúmenes / pie<sup>2</sup>)

---

### SENSOR UX190 – LCD Y T-DCI-F900-S-P

Para monitorear las variantes de velocidad de viento, se utilizaron sensores datalogger modelo **UX190 – LCD** (Ilustración 22) y **T-DCI-F900-S-P** (Ilustración 23) de la marca Onset, se programó para obtener datos precisos en un intervalo de tiempo de 1 minuto (Ilustración 24).



Ilustración 22.- Datalogger modelo UX190 - LCD, Fuente: (ONSET, 2020)



**Ilustración 23.- Sensor de viento T-DCI-F900-S-P, Fuente: (ONSET, 2020)**

Iniciar registrador

**HOBO UX120-006M 4 Channel Analog**

Descripción:

Número de serie: 10894427

Estado:

Nivel de batería: 100 %

**Sensores**

Configurar sensores en el Registro:

Selección	Descripción	Unidad	LCD unidades	Acciones
<input checked="" type="checkbox"/> 1)	T-DCI-F900-S-P (0,15-10 m/s)	M/S	LCD unidades: MS	<input type="button" value="Alarmas..."/>
<input type="checkbox"/> 2)	TMCx-HA (-40 °C a 100 °C)	°C	LCD unidades: C	<input type="button" value="Escalado..."/>
<input type="checkbox"/> 3)	T-DCI-5200-105 (1 - 160 SCFM)	<Introducir etiqueta aquí>	LCD unidades: C	<input type="button" value="Filtros (3) ..."/>
<input type="checkbox"/> 4)	TMCx-HA (-40 °C a 100 °C)	<Introducir etiqueta aquí>	LCD unidades: C	

**Implementación**

Intervalo de registro: 1 minuto

Modo de registro: Fixed Interval

Duración del registro: 3.9 años

Iniciar registro: En fecha/hora 02/16/21 06:00:00 PM

Detener registro:  Cuando la memoria se llena  Nunca (solapado)

Pulsar botón

Después 1 día

Opciones:  Desconectar LCD

Ayuda Cancelar Iniciar retardado

**Ilustración 24.-Programación de sensor de viento, Fuente: Propia.**

## ESPECIFICACIONES

---

### Sensor UX190 – LCD

- **Rango de operación:** -20 ° C a 70 ° C
- **Precisión:**  $\pm 0.35$  ° C @ 0 ° C a 50 ° C
- **Resolución:** 0.03 ° C @ 25 ° C

### Sensor T-DCI-F900-S-P

- **Rango de medición modelo "O":** 0,15 - 5 m/s (30 - 985 fpm)
- **Rango de medición modelo "P":** 0,15 - 10 m/s (30 - 1969 fpm)
- **Precisión:** mayor del 10% de la lectura o  $\pm 0,05$  m/ so 1% de escala completa
- **Medio estándar:** aire a presión estándar (101,3 kPa, 29,95 "Hg)
- **Rango de temperatura de funcionamiento:** 15 - 35 C (59 - 95 F)
- **Temperatura de almacenamiento:** -10 a 100 ° C
- **Voltaje de suministro:** 7-13 VDC
- **Corriente de suministro:** 40-75 mA (10K ohmios nominales)
- **Tiempo de calentamiento:** <5 seg.
- **Tiempo de respuesta:** 1,5 seg.

Se utilizó una extensión eléctrica de 3 metros para poder llevar energía eléctrica de un contacto eléctrico que estaba cerca del sitio experimental al interior del módulo experimental (Imagen 2).



**Imagen 2.- Colocación de extensión eléctrica al interior del módulo, Fuente: Propia.**

Para proteger el sensor ubicado al exterior de la lluvia o riegos, se utilizó un abrigo fabricado a base de 8 platos de plástico, de los cuales 6 tenían un corte circular al centro con el tamaño adecuado para que pudiera entrar el sensor. Dichos platos estaban separados en sentido vertical de 1 cm, con la intención de que pudiera fluir el aire al interior de ellos y el sensor pudiera realizar los registros (Imagen 3).





**Imagen 3.- Base protectora de sensor, Fuente Propia.**

Joel Mendoza y J. Garza (2009) mencionan que las mediciones deben tener dos propiedades básicas, **confiabilidad** y **validez**. Mencionan que la confiabilidad busca que cualquier procedimiento de medición genere los mismos resultados en eventos repetidos y la validez busca que se mida lo que se está buscando medir. Por otra parte, Jesús Abelardo Licón (2018) menciona que la confiabilidad se enfoca a propiedades particulares de los indicadores específicos (variables), en cambio, la validez se enfoca a la importante relación, entre el indicador (variable) y el constructo (hipótesis); el constructo es un concepto que se ha formulado para ser usado en la ciencia, se define de tal manera que sea susceptible de ser observado y medido. La validez se comprueba conociendo el marco teórico y el estado del arte del estudio, en cuanto a la confiabilidad se logra por medio de la verificación y calibración de los instrumentos.

---

## MODULO EXPERIMENTAL

Debido a la necesidad de validación experimental, se requirió analizar, diseñar y construir 2 módulos para el desarrollo experimental, los cuales cumplieran con los siguientes requerimientos:

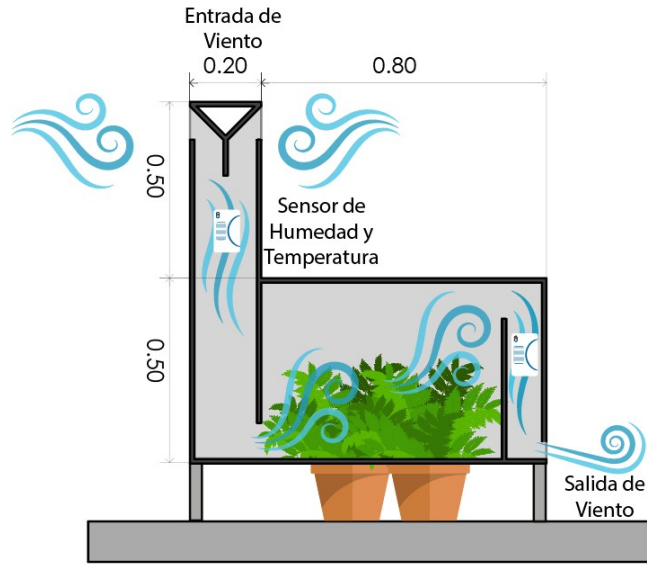
- Área (largo x ancho).
- Volumen (capacidad de volumen).
- Ventilación constante al interior (flujo de aire al interior del área experimental).
- Aislamiento térmico (protección térmica al exterior, para evitar alteración de datos).
- Ubicación (sitio).

---

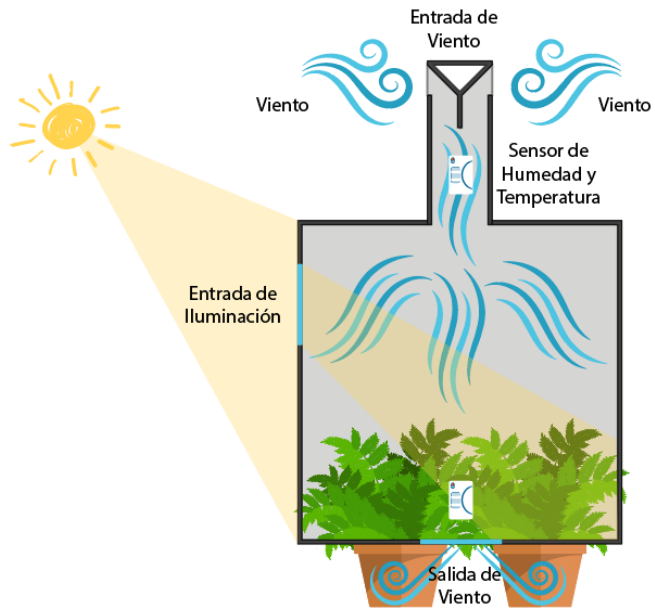
## ESQUEMA DE DISEÑO

El proceso de diseño de los módulos experimentales, inicio con un estudio y análisis de módulos experimentales, durante ese proceso de aprendizaje, se realizaron proceso esquemático “**ideas previas**” de posibles formas y funcionamientos de los módulos (Imagen 29, Imagen 30).

Se realizaron una serie de diseños esquemáticos e ilustrativos (Ilustración 25, Ilustración 26) con el objetivo de obtener el diseño que se adecuara al desarrollo experimental.



**Ilustración 25.- Diseño esquemático de modulo, Fuente: Propia.**



**Ilustración 26.- Diseño esquemático de modulo, Fuente: Propia.**

Para verificar la funcionalidad aerodinámica y el flujo interno que presentaban la propuesta de diseño de los módulos experimentales, se utilizó el programa de **Flow Design** de la marca Autodesk. Dicho programa permitió ver el comportamiento interno que se tenía en los módulos, al momento que un flujo de aire era introducido en su interior (Ilustración 27).

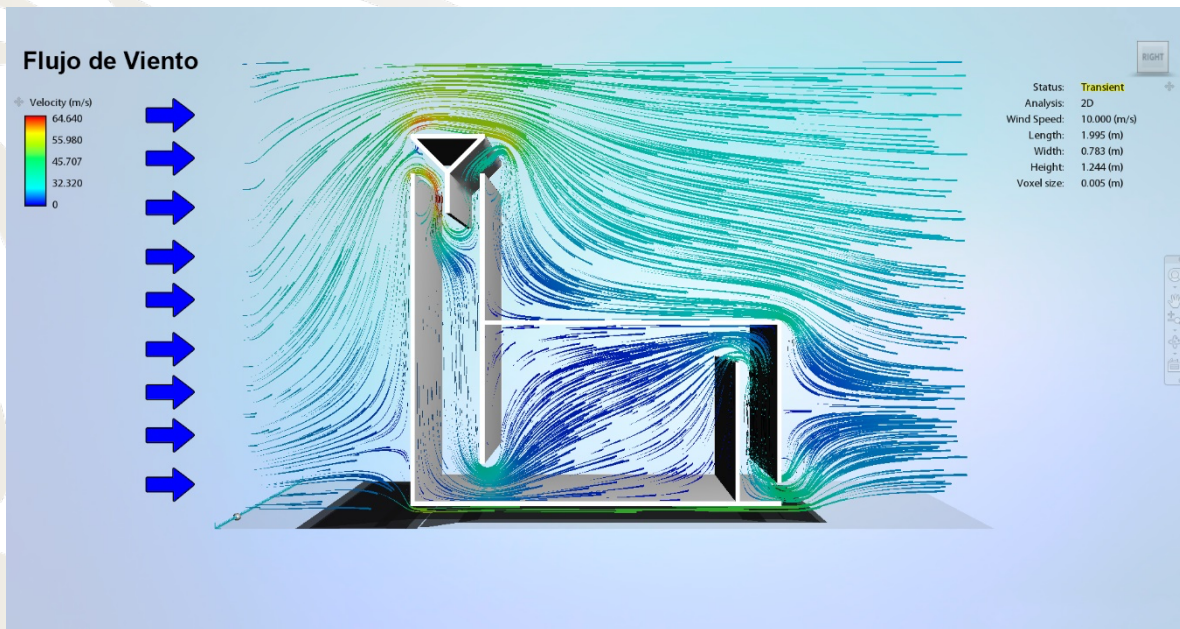


Ilustración 27.- Verificación de modulo en el túnel de viento digital, Fuente: Propia.



## PROPUESTA DE DISEÑO

Para el desarrollo de la propuesta de diseño de módulos, se utilizó los criterios de dimensiones marcadas por el reglamento de construcción para el estado de **Colima**, el cual menciona en el **artículo 108**, las medidas mínimas para espacios habitables las cuales son: **3.00 m x 3.00 m x 2.70 m** (Ilustración 28). (Ayuntamiento de COLIMA, 2014)

### I. HABITACION

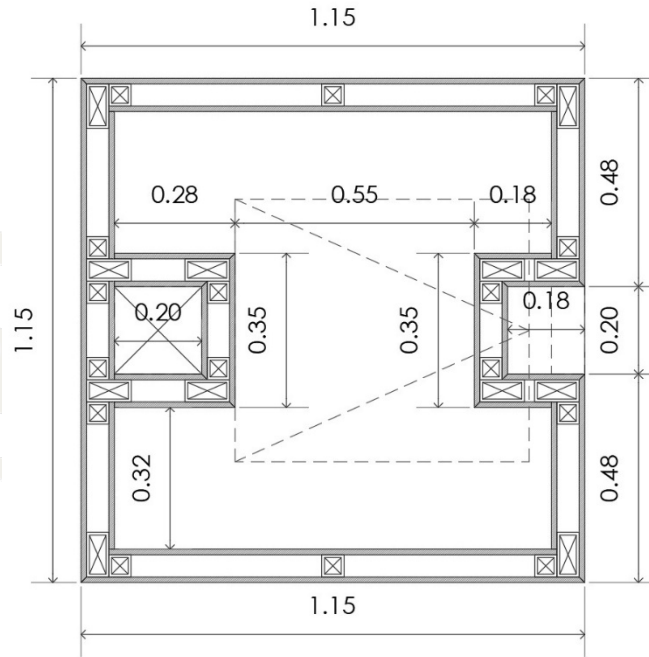
Locales habitables:

Recámara única o principal.	9.00 M2	3.00	2.70
Recámaras adicionales o Alcobas	7.30 M2	2.70	2.70
Estancias	7.30 M2	2.70	2.70
Comedores	9.00 M2	3.00	2.70
Estancis-comedor (integrados)	14.60 M2	2.70	2.70

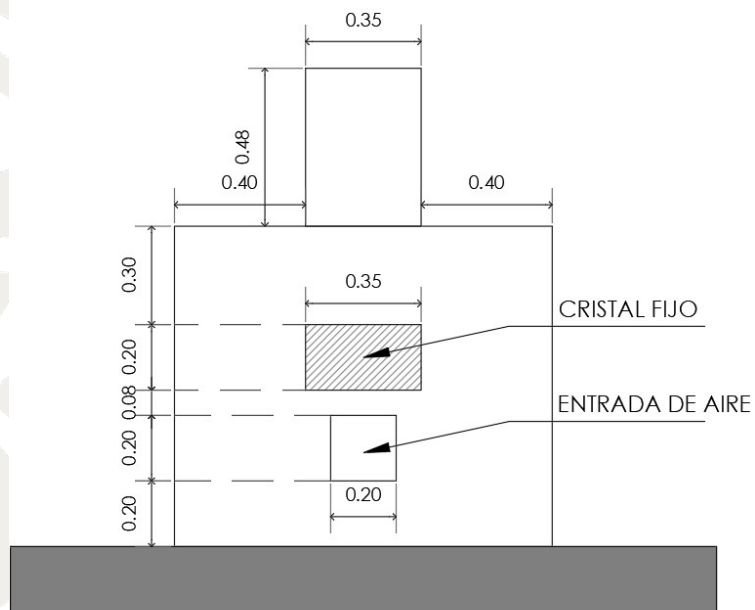
Ilustración 28.- Dimensiones mínimas espacios habitables, Fuente: (Ayuntamiento de COLIMA, 2014)

Con base a esta normatividad se optó por utilizar 1/3 de las dimensiones mínimas para el diseño y fabricación de los módulos experimentales, a continuación, se muestra los planos arquitectónicos realizados para la fabricación de los módulos, **planta arquitectónica** (Ilustración 29), **alzados frontal** (Ilustración 30), **alzado posterior** (Ilustración 31), **alzado lateral derecho** (Ilustración 32), **alzado lateral izquierdo** (Ilustración 33) y **sección** (Ilustración 34).

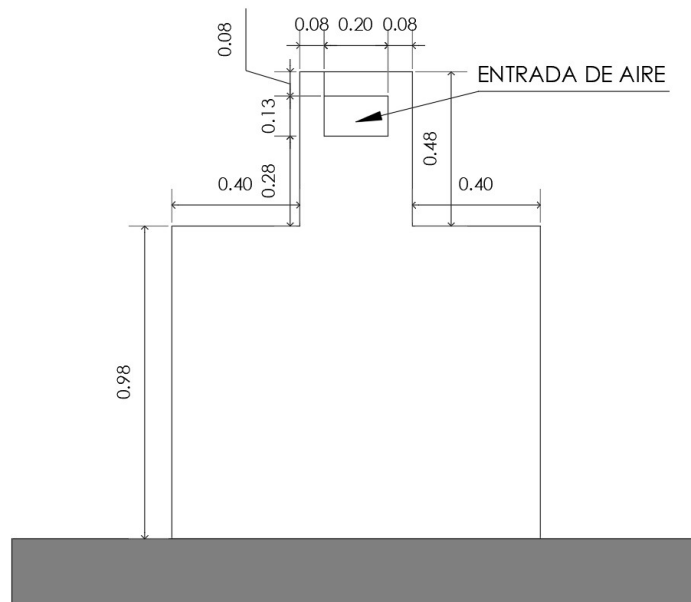




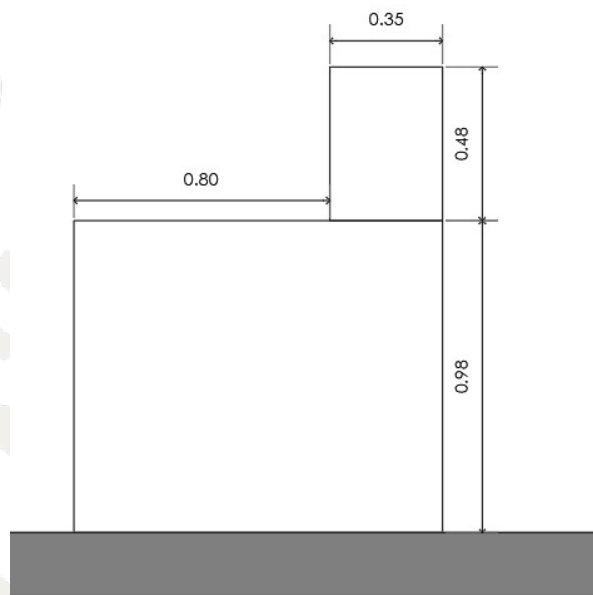
**Ilustración 29.- Planta arquitectónica modulo experimental, Fuente: Propia.**



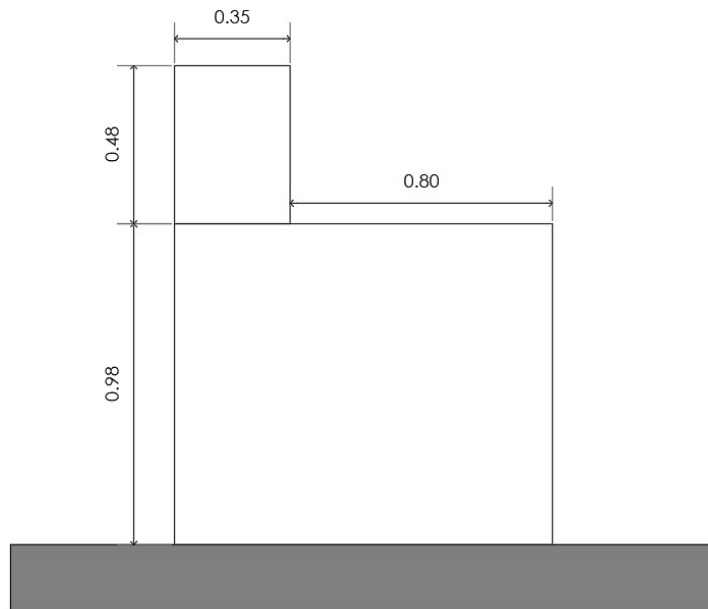
**Ilustración 30.- Alzado frontal modulo experimental, Fuente: Propia.**



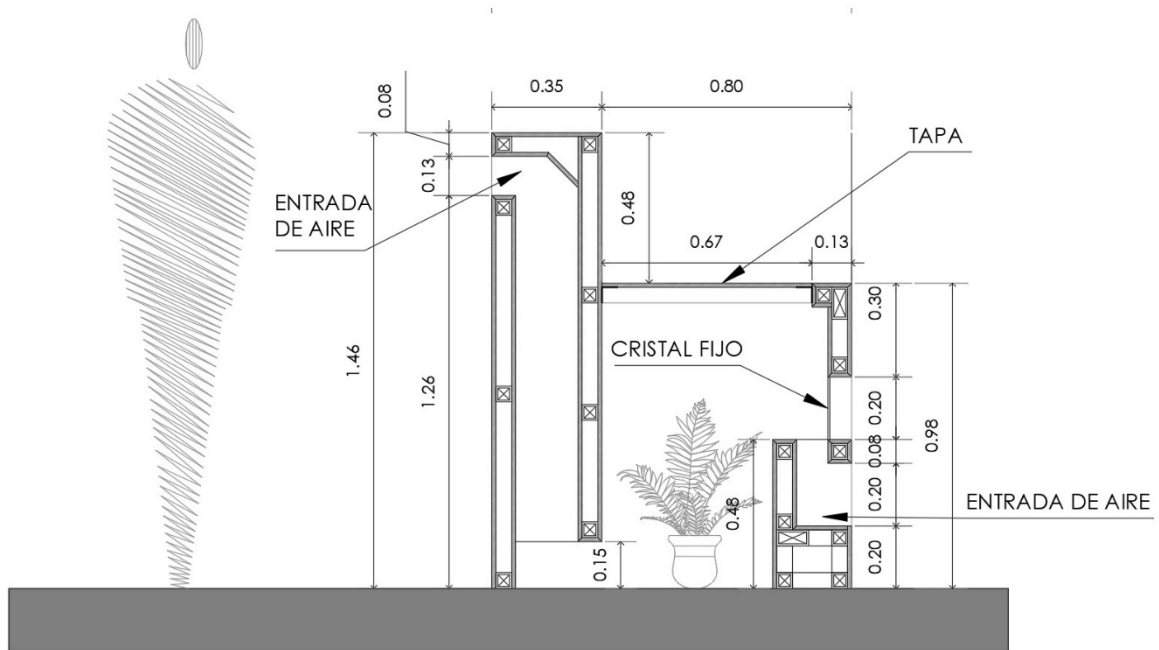
**Ilustración 31.- Alzado posterior modulo experimental, Fuente: Propia.**



**Ilustración 32.- Alzado lateral derecho modulo experimental, Fuente: Propia.**



**Ilustración 33.- Alzado lateral izquierdo modulo experimental, Fuente: Propia.**



**Ilustración 34.- Sección modulo experimental, Fuente Propia.**

La propuesta arquitectónica también fue realizada en forma tridimensional (modelos 3D), con el objetivo de poder visualizar de forma más precisa las ideas planteadas con anterioridad y definir cantidad de material a utilizar, como el proceso constructivo a seguir (Ilustración 35).

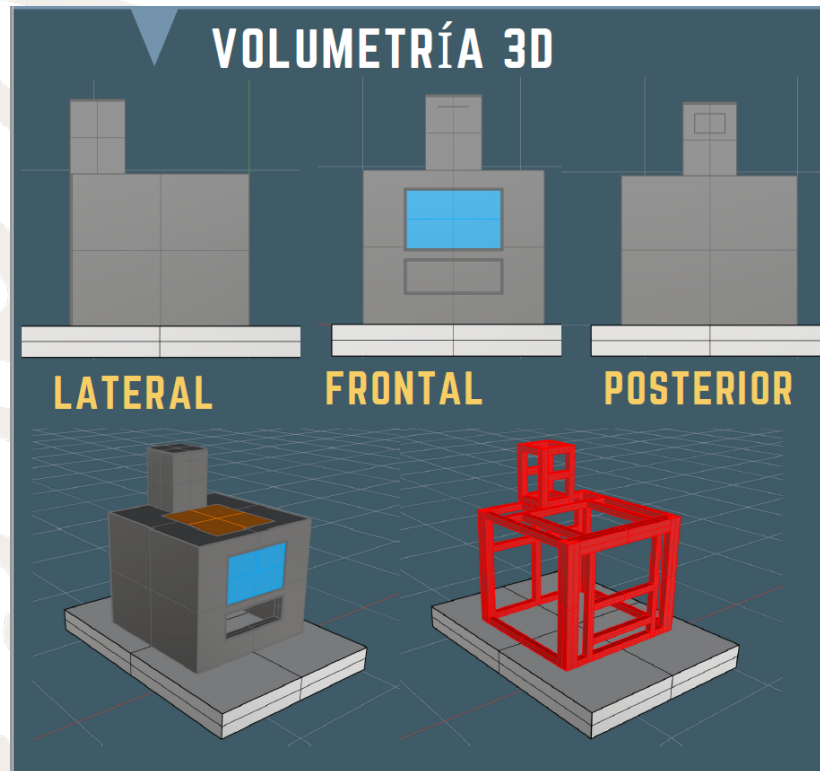


Ilustración 35.- Propuesta volumétrica de módulo experimental, Fuente Propia.

Antes de pasar al proceso constructivo, se puso a prueba el diseño de módulo experimental propuesto en un túnel de viento, con el objetivo de ver el comportamiento interno que se tenía en los módulos, al momento que un flujo de aire era introducido en su interior.

Al igual que en la comprobación digital por medio del software Flow Desing, el resultado obtenido en el túnel de viento positivo, ya que, por la disposición de la entrada y salida de aire, los módulos mostraban un flujo constante y con gran volumen de capacidad a su interior (Imagen 4). Estas condicionantes son necesarias que se cumplan al interior de los módulos, esto con la finalidad de que los **helechos Boston** puedan estar en contacto

con el aire que entra al interior del módulo experimental y se pueda registrar algún cambio de temperatura y humedad.



**Imagen 4.- Prueba de modulo en túnel de viento, Fuente Propia.**



---

## CONSTRUCCIÓN DE MÓDULOS

El proceso constructivo de los módulos experimentales se realizó en un área designada cerca del **área de Posgrados** en el **Instituto Tecnológico de Colima** (Imagen 5).



Imagen 5.- Sitio Experimental, Fuente: Propia.

Los materiales empleados en la construcción de los módulos fueron los siguientes (Imagen 6).

- 5 placas de Tablaroca (tabla-yeso), láminas de 1.22 m x 2.44.
- perfilería de aluminio.
- tornillería de 3/4" (pijas negras).
- 5 placas de poliestireno.
- 2 placas de cristal de 6 mm de 0.20 m x 0.35 m
- 5 sacos de pega piso



**Imagen 6.- Material utilizado, Fuente: Propia.**

Estos materiales fueron seleccionados, por la solides que presenta, dureza (tiempo de permanencia en el sitio experimental), fácil manejo constructivo.

El proceso de construcción inicio trazando una base cuadrada de 1.15 m x 1.15 m que sirviera de base para el trazo de los cubos (Imagen 7).





**Imagen 7.- Trazo de base 1.15 M X 1.15 M, Fuente: Propia.**

Con el trazo realizado se prosiguió a montar la perfilaría de aluminio, siguiendo las líneas de trazo marcadas con anterioridad (Imagen 8).



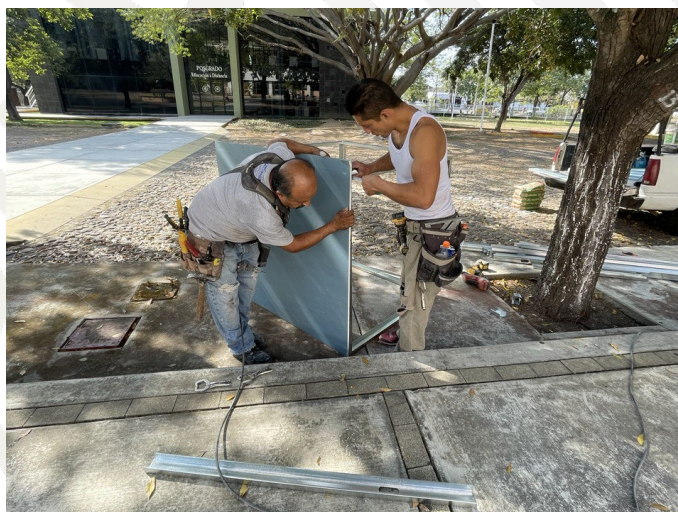
**Imagen 8.- Proceso de armado de perfilaría de aluminio, Fuente: Propia.**

La perfilera fue fijada al piso por medio de pijas, esto con el objetivo de buscar una mayor rigidez para los módulos. Posterior al fijado se empezó a colocar perfilera en sentido vertical para darle la altura que tendrían los módulos experimentales, la unión entre perfil y perfil se realizó con tornillería (Imagen 9).



**Imagen 9.- Fijación de módulos, Fuente Propia.**

Después de formar el cubo con la perfilera de aluminio, se prosiguió a recubrir las 5 caras del módulo con la lámina de Durock (Imagen 10).



**Imagen 10.- Recubrimiento de las caras de los módulos, Fuente: Propia.**



Durante el proceso de colocación de la lámina de Durock, se realizaron extracciones, con el objetivo de crear los accesos que servirán para captar e introducir el aire al interior del módulo experimental (Imagen 11, Imagen 12).



**Imagen 11.- Ventana de captación de aire, Fuente: Propia.**



**Imagen 12.- proceso de fabricación chimenea, Fuente: Propia.**



Se creo la torre de viento (captador principal), esta entrada de aire sobresalía del módulo 0.50 m, y estaba despegada del piso 0.15 m con el objetivo de distribuir uniformemente el aire captado al interior del airea experimental (Imagen 13).



**Imagen 13.- Fabricación de torre de viento, Fuente: Propia.**

Se realizo una puerta de acceso removible de un costado para poder tener acceso fácil al interior de los módulos experimentales (Imagen 14).



**Imagen 14.- Fabricación de puerta de acceso removible, Fuente: Propia.**

Posterior al armado de los módulos, se realizó el sellado de las juntas y uniones que existían entre los paneles de Tablaroca, esto permitió evitar filtraciones y mantener el volumen de aire que ingresaba al interior de los módulos (Imagen 15).



**Imagen 15.- Sellado de uniones de paneles, Fuente: Propia.**



Para dar una mayor durabilidad a los módulos y un sellado perfecto, se le aplico una mezcla de pega piso con arena y agua, dándole un término aplanado rugoso (Imagen 16).



**Imagen 16.- Aplanado de módulos con mezcla de pega piso con arena, Fuente: Propia.**

Posterior al empastado de módulos, se dejó secar por un día, con la finalidad de que la pasta aplicada de pega piso con arena pudiera secar. La mezcla de permitió que los modulo se volvieran más rígidos y a su vez sellar cualquier posible orificio o ranura no visible (Imagen 17).



**Imagen 17.- Proceso de secado de módulos, Fuente: Propia.**

---

## AISLAMIENTO DE MÓDULOS

Con el objetivo de controlar la variante de **temperatura** y evitar la transferencia de calor al interior de los módulos experimentales, se propuso aplicar un recubrimiento con láminas unicel (poliestireno) pegadas con silicón de la marca **SISTA**, tipo frio para una adherencia rápida (Imagen 18).



Imagen 18.- Aplicación de lámina aislante, Fuente: Propia.

Para poder seleccionar el espesor adecuado de la lámina de poliestireno, se basó en el estudio del Dr. Carlos Esparza (2015), donde menciona que entre los tres grosores de lámina de unicel que él puso a prueba (**1"**, **2"** y **3"**), la que resulto más factible por costo beneficio era la de 1", ya que la transferencia que presentaba era de un 60% menos al interior de sus módulos.

Una vez seleccionada el tipo de lámina de unicel a utilizar, se prosiguió a comprar el material necesario para recubrir en su totalidad los módulos. Los materiales utilizados fueron los siguientes:

- 6 láminas de unicel (poliestireno) de 1".
- 5 cartuchos de silicón en frio de 300 ml, de la marca SISTA.



---

## CALIBRACIÓN DE MÓDULOS Y EQUIPOS

Antes de realizar el proceso pre-experimental y experimental, los equipos fueron calibrados, este proceso permitió registrar y observar si alguno de los equipos pudiera presentar alguna variación de registro, dando como resultado la alteración del experimento. Se realizó en un periodo de 8 días, donde se colocaron en las mismas condiciones todos los sensores.

Para el proceso de calibración, pre-experimento y experimento, se identificaron de la siguiente manera (imagen 19), para poder tener un control de los datos que se estuvieran recabando cada cierto periodo.

- Modulo Testigo - Sensor Maestro.
- Modulo Exterior - Sensor Esclavo.
- Modulo Experimental Plantas - Sensor Esclavo.
- Sensor de Viendo.



imagen 19.- Rotulo de sensores U12, Fuente: Propia.



Si durante el proceso de calibración, los datos registrados por los U12 no presentan alguna variación de temperatura de  $\pm 0.35$ , dicha calibración se tomará como efectiva ya que los tres sensores presentan la misma información.

El periodo de calibración de los sensores, se realizó a partir del día 10 de febrero del 2021 al 18 de febrero del 2021. Los datos que se estuvieron registrando durante todo este periodo de calibración, eran sustraídos cada 2 días (imagen 20), con el objetivo de verificar el comportamiento de dichos sensores, o si presentaban alguna variación entre ellos, el cual pudiera alterar el experimento.

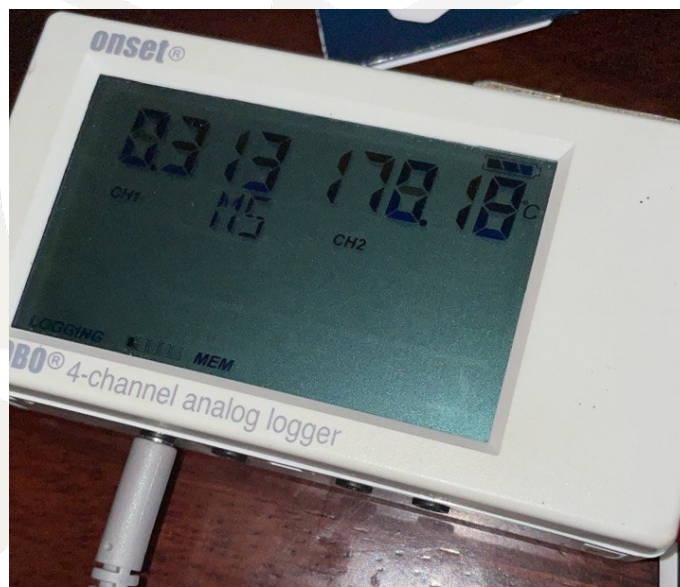
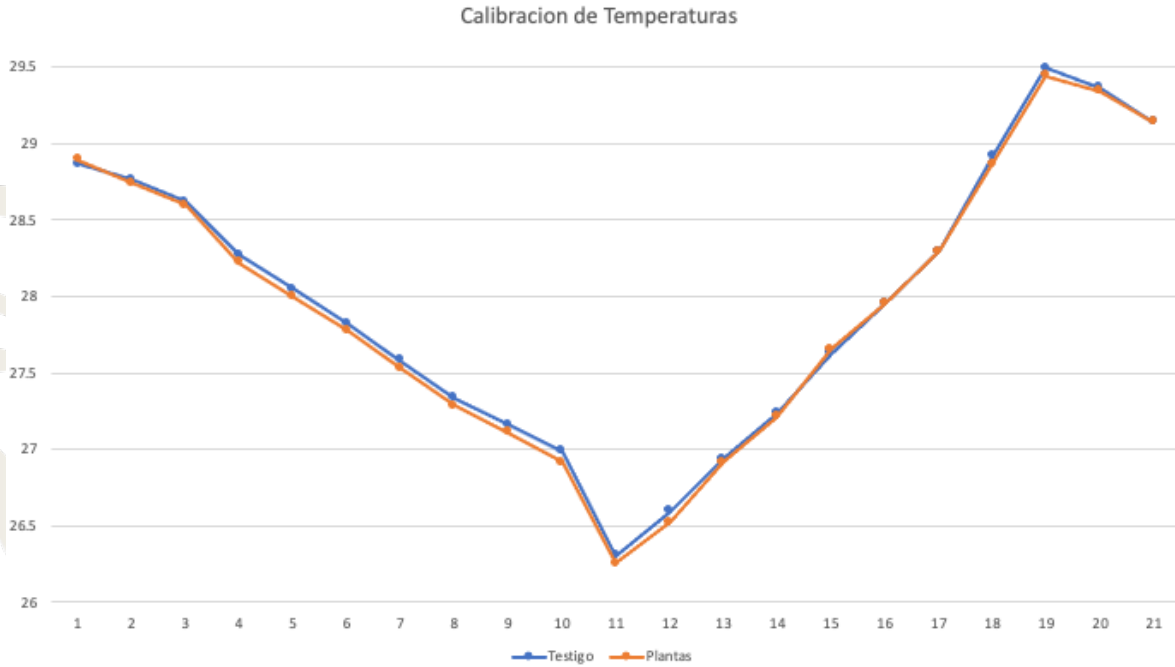
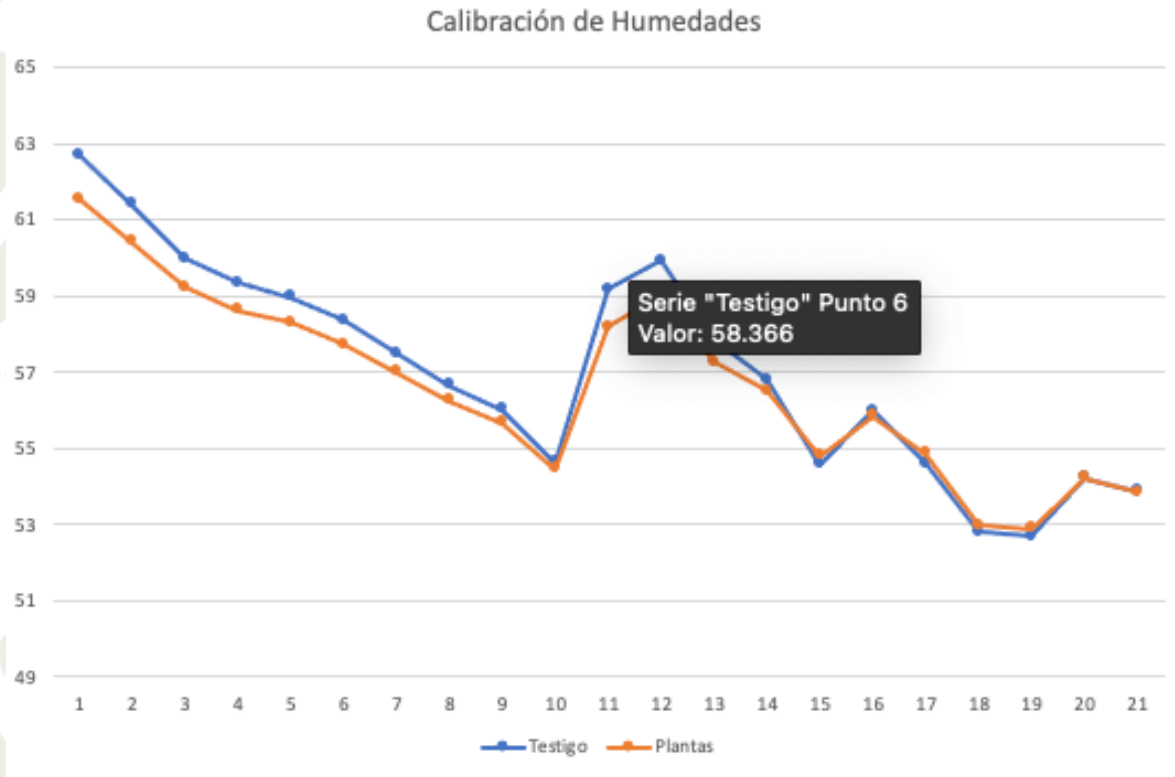


imagen 20.- Inicio de calibración de equipos, Fuente: Propia.

Al analizar los datos registrados (Ilustración 36) (Ilustración 37) durante todo el proceso de calibración de los sensores y al no presentar alguna variación considerable entre ellos en estos 8 días, se considera como efectivo para proseguir con el experimento.



**Ilustración 36.- Grafica de calibración de equipos temperatura, Fuente: Propia**



**Ilustración 37.- Grafica de calibración de equipos humedad, Fuente: Propia**

---

## COLOCACIÓN DE ESPECIES Y EQUIPOS

En este proceso, se realizó la selección y compra de los **helechos Boston** (*Nephrolepis Exaltata*) en un vivero (Imagen 21).



**Imagen 21.- Selección de helecho, Fuente: Propia.**

Para seleccionar los helechos a utilizar en el proceso experimental, se decidió por los que cumplieran con un diámetro de copa de 30 cm (Imagen 22), área de uso adecuada para poder introducir 8 helechos dentro de los módulos experimentales (Ilustración 38).





Imagen 22.- Selección de helechos con diámetro de 30 cm, Fuente: Propia.

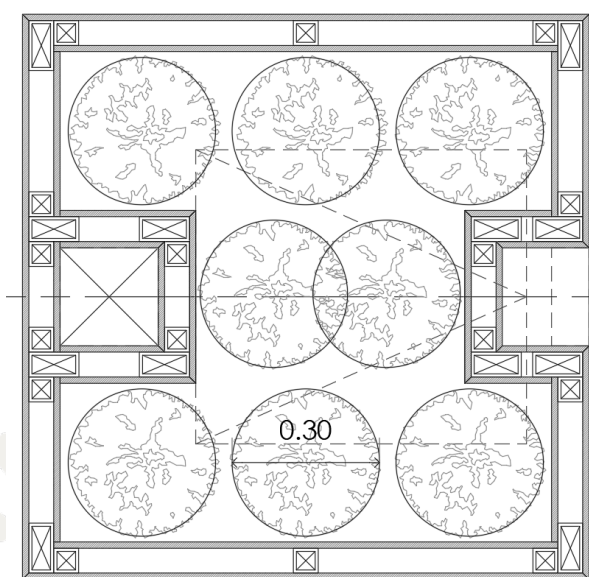


Ilustración 38.- Área de uso por helecho, Fuente: Propia.

Posterior a la selección y compra de helechos, se prosiguió a llevar las plantas al área experimental, para iniciar con el proceso pre-experimental. Para el acarreo de las especies, se utilizó una carretilla para reducir las vueltas a realizar entre el estacionamiento general “**punto A**” (Imagen 23) y el área experimental “**punto B**” (Imagen 24), ya que entre ambos estacionamientos existe una distancia aproximada de 240 mts (Ilustración 39), y el peso promedio de los helechos con su maceta era de 1.5 kg.





**Imagen 23.- Estacionamiento general del TEC, Fuente: Propia.**



**Imagen 24.- Transporte de helechos al área experimental, Fuente: Propia.**





Ilustración 39.- Distancia entre los estacionamientos, Fuente: Fuente: (GOOGLE , 2020)

Para empezar a colocar los sensores, se mantuvo el mismo esquema que se realizó en el proceso de calibración, donde los sensores estarían rotulados para poder identificar los datos que se estarían sustrayendo cada dos días (Imagen 25).



Imagen 25.- Identificación de sensores, Fuente: Propia.

El primer sensor que se colocó, fue el que estaría al exterior de los módulos experimentales, los datos que se recolecten de este sensor servirán de referencia para comparar con los datos de los módulos experimentales. Este sensor fue ubicado en una torre que estaba fabricada por 8 platos de plástico y 3 tornillos largos de acero con rosca y tuercas (Imagen 26), el cual tenía una sustracción en el medio el cual servía para introducir el sensor (Imagen 27) y evitar que se pudiera mojar cuando estuviera al exterior, ya que el plato inferior como el superior estaban completos, y al momento de armar la torre, quedaba sellada.



**Imagen 26.- Torre protectora de sensor, Fuente: Propia.**





**Imagen 27.- Ingreso de sensor, Fuente: Propia.**

Los sensores ubicados en los módulos experimentales, fueron colocados en la parte superior de cada módulo (Imagen 28). Para su colocación, se utilizaron cinchos de plástico de 40 cm de largo, de la marca Truper.



**Imagen 28.- Ubicación de sensores en módulos experimentales, Fuente: Propia.**

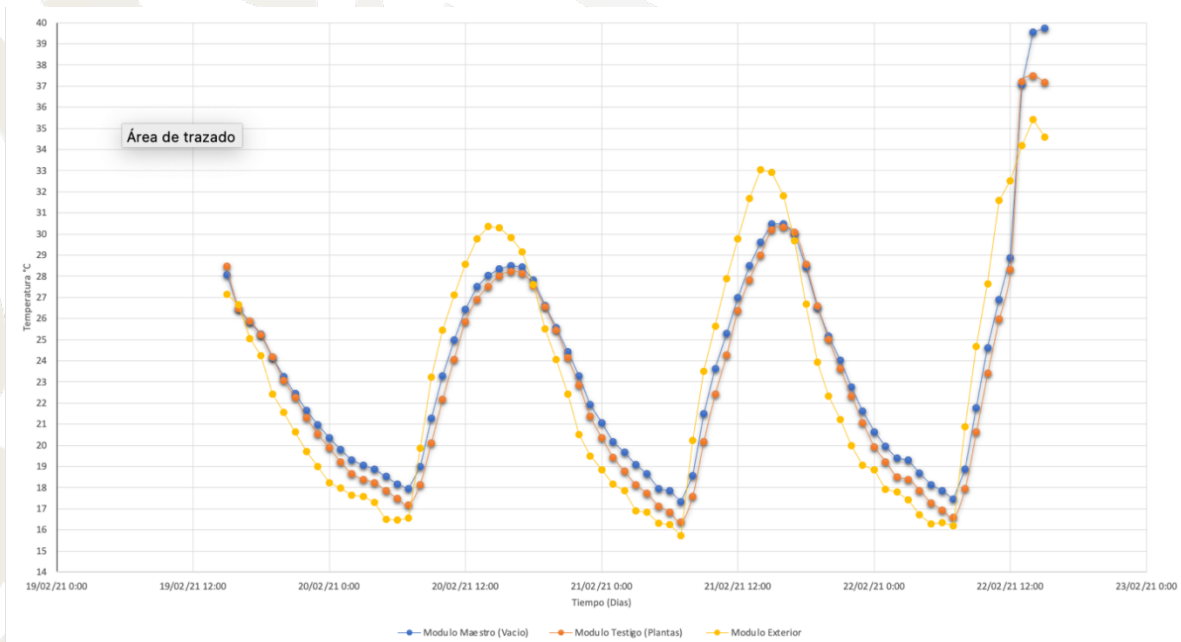


---

## PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En esta etapa se realiza un estudio de comportamiento de los sensores ya ubicados en los módulos experimentales, así como en la base exterior.

Se busca obtener datos comparativos entre los 3 sensores colocados (Ilustración 40), posibles alteraciones que pudieran llegar a presentar al estar tomando muestreo o confirmar que su funcionamiento es correcto.



**Ilustración 40.-Grafica comparativa de sensores en módulos experimentales, Fuente: Propia.**

---

## EXPERIMENTO

El experimento se realizó durante un periodo de 35 días los cuales se estuvieron recabando datos cada 7 día de los sensores al igual que se regaban los helechos. Iniciando el viernes 26 de febrero del 2021 y terminando el jueves 1 de abril 2021.

La primera toma de datos fue el 04 de marzo del 2021 a las 5:00 pm, a partir de esta hora los datos que siguieron registrando lo sensores no serán tomados en cuenta ya que se encuentran fuera de los módulos experimentales.

El segundo registro de datos inicio el 04 de marzo del 2021 a las 6:30. El proceso que se realizo fue abrir los módulos experimentales, tomar la fecha y hora en que se abrieron los módulos, para descartar a partir de ese instante los datos que registren los sensores, sacar los helechos y verificar si presenta algún cambio en la forma física, proceder a regar las plantas, durante el lapso que se está dejando que se drene el agua de las macetas, se realiza la obtención de los datos registrados de los sensores por medio del software **HOBOWARE**.

La tercera toma de datos se realizó el día 11 de marzo del 2021 iniciando el proceso de recopilación de datos a las 4:30 Pm, y partir de esta fecha los datos obtenidos posteriormente no serán tomados en cuenta. Se repitió el proceso de obtención de datos que se mencionó con anterioridad en el párrafo anterior.

Los sensores fueron programador para volver a obtener datos a partir de las 7:00 pm del día 11 de marzo del 2021.

La tercera sustracción de datos inicio el 19 de marzo del 2021 a las 5:30. El proceso que se realizo fue abrir los módulos experimentales, tomar la fecha y hora en que se abrieron los módulos, para descartar a partir de ese instante los datos que registren los sensores, sacar los helechos y verificar si presenta algún cambio en la forma física, proceder a regar las plantas, durante el lapso que se está dejando que se drene el agua de las macetas, se realiza la obtención de los datos registrados de los sensores por medio del software **HOBOWARE**.

Los sensores fueron programador para volver a obtener datos a partir de las 7:00 pm del día 19 de marzo del 2021.

La cuarta sustracción de datos inicio el 25 de marzo del 2021 a las 4:30. El proceso que se realizo fue abrir los módulos experimentales, tomar la fecha y hora en que se abrieron los módulos, para descartar a partir de ese instante los datos que registren los sensores, sacar los helechos y verificar si presenta algún cambio en la forma física, proceder a regar las plantas, durante el lapso que se está dejando que se drene el agua de las

macetas, se realiza la obtención de los datos registrados de los sensores por medio del software **HOBO WARE**.

Para obtener los últimos datos de este experimento, los sensores fueron programados para volver a obtener datos a partir de las 7:00 pm del día 25 de marzo del 2021.

La última sustracción de datos se realizó el día 1 de abril del 2021 a las 10:00 am, a partir de esta hora los datos obtenidos serán descartados del experimento, y se da por terminado la fase experimental de este trabajo.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS OBTENIDOS

#### PRESENTACION DE RESULTADOS

Dentro de este apartado, se recabó gran cantidad de datos de la fase experimental que se realizó. Esta información fue procesada por medio de tablas y graficas en el software de Excel.

La información que se estuvo recabando de cada sensor durante el periodo experimental fue la siguiente (Ilustración 41)

- Temperatura en °C
- Humedad %

Experimento: Modulo Experimental			
N.º	Fecha Tiempo, GMT-06:00	Temp, °C	HR, %
1	26/02/2021 09:00	18.557	69.127
2	26/02/2021 09:01	18.604	69.052
3	26/02/2021 09:02	18.652	68.837
4	26/02/2021 09:03	18.699	68.621
5	26/02/2021 09:04	18.723	68.457
6	26/02/2021 09:05	18.771	68.185
7	26/02/2021 09:06	18.842	68.366
8	26/02/2021 09:07	18.889	68.319
9	26/02/2021 09:08	18.937	67.961
10	26/02/2021 09:09	18.985	68.055
11	26/02/2021 09:10	19.032	67.64
12	26/02/2021 09:11	19.08	67.309
13	26/02/2021 09:12	19.127	67.033
14	26/02/2021 09:13	19.175	66.928
15	26/02/2021 09:14	19.222	66.623
16	26/02/2021 09:15	19.27	66.546
17	26/02/2021 09:16	19.341	66.216
18	26/02/2021 09:17	19.389	66.024
19	26/02/2021 09:18	19.436	65.803
20	26/02/2021 09:19	19.484	65.898
21	26/02/2021 09:20	19.555	65.623
22	26/02/2021 09:21	19.603	65.257
23	26/02/2021 09:22	19.651	65.208
24	26/02/2021 09:23	19.722	65.393
25	26/02/2021 09:24	19.77	65.832
26	26/02/2021 09:25	19.817	65.812
27	26/02/2021 09:26	19.841	65.988
28	26/02/2021 09:27	19.888	65.91
29	26/02/2021 09:28	19.936	64.997

Ilustración 41.- Ejemplo de Información obtenida por cada sensor, Fuente: Propia.



Durante este proceso experimental, se recabaron alrededor de 50,400 datos por cada sensor, esto nos da un total de 151,200 datos obtenidos en los 35 días de experimentación.

Se muestra a continuación en el grafico (Ilustración 42) la información correspondiente a temperatura de bulbo seco y humedad relativa de un día tipo de la experimentación. En la línea azul muestra el comportamiento que tiene la temperatura a lo largo del tiempo, de la misma manera la línea de color anaranjado representando el comportamiento de la humedad relativa. Cabe destacar una gran cantidad de información obtenida con un aproximado de 1440 datos por día experimental, razón por la cual será necesario emplear alguna metodología para simplificar sin alterar el comportamiento reflejado por el fenómeno resultante y que será descrito en el apartado de procesamiento y análisis de resultados.

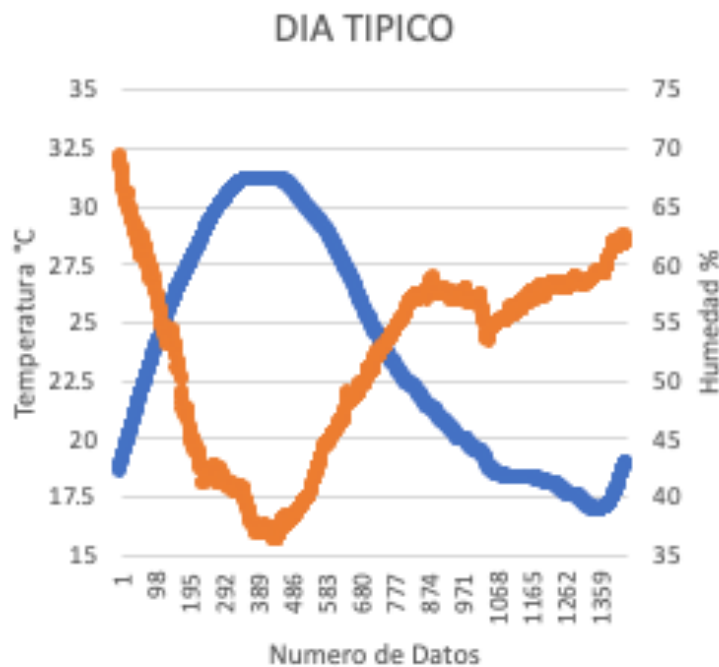


Ilustración 42.- Día típico, Fuente: Propia

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### PROCESAMIENTO Y ANALISIS

Para poder manipular esta cantidad de información, se optó por utilizar una normalización de datos. El proceso que se realizó fue el siguiente, de los valores de los 35 días experimentales, de manera inicial se eliminaron los registrados a cada minuto, quedando solo datos por hora, permitiéndonos con este procedimiento reducir la información en un 98%. En la Ilustración 43 se muestra la tabla del módulo experimental a manera de ejemplo, en la primera columna se aprecia el número de dato, es decir del 1, 61, 121... etc. Se aprecia la diferencia de 60 datos o 60 minutos los cuales fueron depurados, en la siguiente columna la hora correspondiente a cada valor registrado, posteriormente la columna de temperatura en °C y al final la columna de humedades relativas en %.

Experimento: Modulo Experimental			
Plantas			
N.º	Fecha Tiempo, GMT-06:00	Temp, °C	HR, %
1	26/02/2021 09:00	18.557	69.127
61	26/02/2021 10:00	21.676	61.235
121	26/02/2021 11:00	24.363	55.641
181	26/02/2021 12:00	26.769	48.898
241	26/02/2021 13:00	28.617	42.174
301	26/02/2021 14:00	30.217	41.018
361	26/02/2021 15:00	31.052	39.42
421	26/02/2021 16:00	31.128	37.17
481	26/02/2021 17:00	30.9	37.601
541	26/02/2021 18:00	29.79	39.877
601	26/02/2021 19:00	28.617	44.799
661	26/02/2021 20:00	26.867	47.997
721	26/02/2021 21:00	24.774	50.677
781	26/02/2021 22:00	23.208	53.949
841	26/02/2021 23:00	22.13	57.259
901	27/02/2021 00:00	21.103	57.655
961	27/02/2021 01:00	20.055	56.89
1021	27/02/2021 02:00	19.413	56.886
1081	27/02/2021 03:00	18.414	54.911
1141	27/02/2021 04:00	18.295	56.538
1201	27/02/2021 05:00	18.176	58.089
1261	27/02/2021 06:00	17.724	58.289
1321	27/02/2021 07:00	17.249	58.127
1381	27/02/2021 08:00	16.987	59.04
1441	27/02/2021 09:00	18.961	61.864
1501	27/02/2021 10:00	21.939	53.616
1561	27/02/2021 11:00	25.162	47.656

Ilustración 43.- Información normalizada por hora, Fuente: Propia

Ya con los datos organizados por hora, se realizó una segunda normalización mediante la metodología de promedios “**hora, día, semana**” para clasificar los 35 días en 5 semanas lo que permitió tener 24 datos por día que representan tanto las temperaturas como las humedades promedios (Ilustración 44) a cada hora de los 7 días de la semana y no los 1,440 datos que ya se habían registrado a cada minuto, este proceso se realizó para los tres sensores.

Tiempo	26/02/2021	27/02/2021	28/02/2021	01/03/2021	02/03/2021	03/03/2021	04/03/2021	PROM SEM 1
00:00	22.13	22.13	22.082	22.824	22.824	21.843	22.513	22.34
01:00	21.223	21.223	21.103	22.226	22.321	20.77	21.748	21.52
02:00	20.627	20.627	20.507	21.843	21.581	20.103	21.39	20.95
03:00	19.674	19.674	19.722	21.294	21.366	19.603	20.674	20.29
04:00	19.555	19.555	19.294	20.936	20.913	18.985	20.246	19.93
05:00	19.436	19.436	18.937	20.507	20.412	18.58	19.793	19.59
06:00	18.961	18.961	18.557	20.031	20.174	18.152	19.389	19.18
07:00	18.343	18.343	18.247	19.579	19.841	17.819	18.889	18.72
08:00	18.105	18.105	18.247	19.27	20.031	17.605	18.628	18.57
09:00	19.817	20.269	20.174	21.008	20.936	19.746	20.793	20.39
10:00	23.064	23.328	22.944	23.737	22.393	22.824	23.569	23.12
11:00	26.061	26.695	25.841	26.402	24.219	25.695	26.378	25.90
12:00	28.122	28.717	27.751	28.369	25.939	27.751	28.245	27.84
13:00	30.016	30.722	29.916	30.293	27.431	29.865	30.469	29.82
14:00	31.74	31.97	31.204	31.281	28.617	31.433	32.021	31.18
15:00	32.201	31.842	31.357	31.281	28.742	32.201	32.047	31.38
16:00	32.073	31.408	31.561	30.849	28.965	31.689	31.637	31.17
17:00	31.637	30.95	31.052	30.318	28.742	31.026	30.976	30.67
18:00	30.369	29.941	29.79	29.24	27.899	30.117	30.57	29.70
19:00	29.065	28.468	28.295	28.171	26.671	28.916	28.171	28.25
20:00	27.407	26.646	26.646	27.21	25.647	27.677	26.842	26.87
21:00	25.404	25.234	25.525	25.793	24.75	26.158	25.939	25.54
22:00	23.978	24.074	24.171	24.605	23.665	24.871	24.919	24.33
23:00	23.088	22.872	23.376	23.545	22.705	23.785	23.521	23.27

Ilustración 44.- Ejemplo de normalización de datos por semana, Fuente: Propia.

Los resultados se estarán presentando en graficas tipo **lineales** y de **dispersión**, en ellas se estará mostrando el comportamiento que se tiene en cada módulo según la condicionante que se esté analizando en ese momento, **temperatura, humedad**. Para dicha representación gráfica y para una fácil comprensión, se asignó un color diferente a cada módulo, esto aporta una mejor comprensión sobre los resultados. el patrón de colores que se utilizo es el siguiente (Ilustración 45):

- Modulo Testigo: Línea punteada azul.
- Modulo Plantas: Línea punteada anaranjada.
- Modulo ambiente: Línea punteada amarilla.

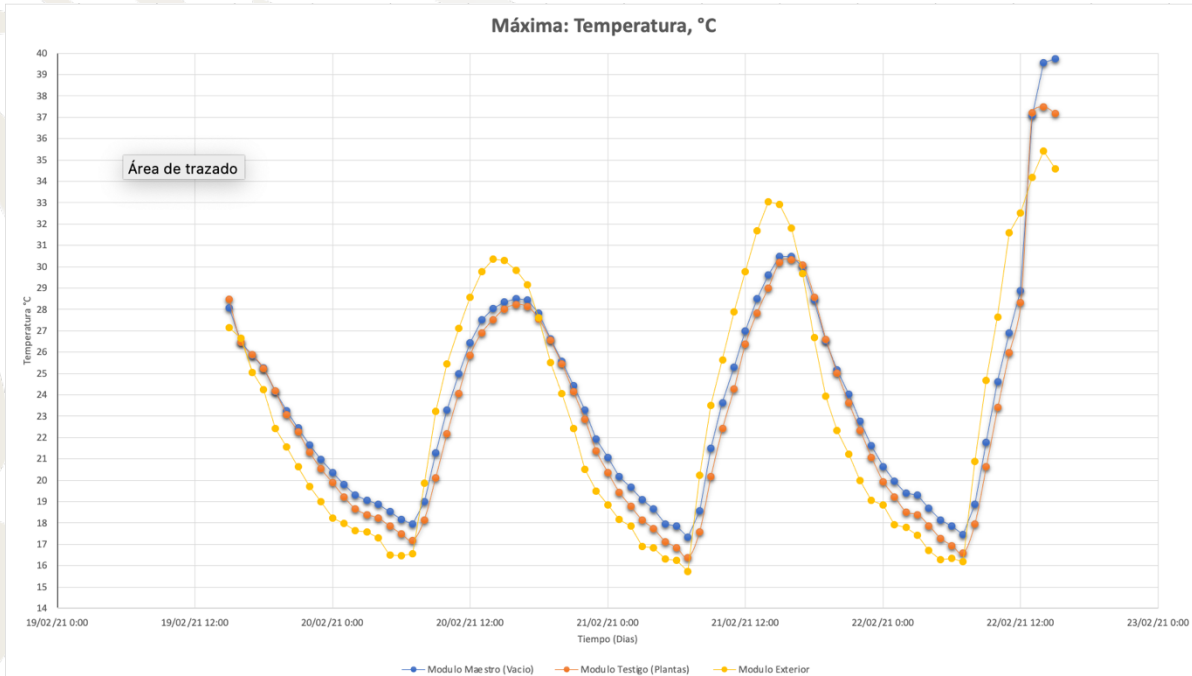
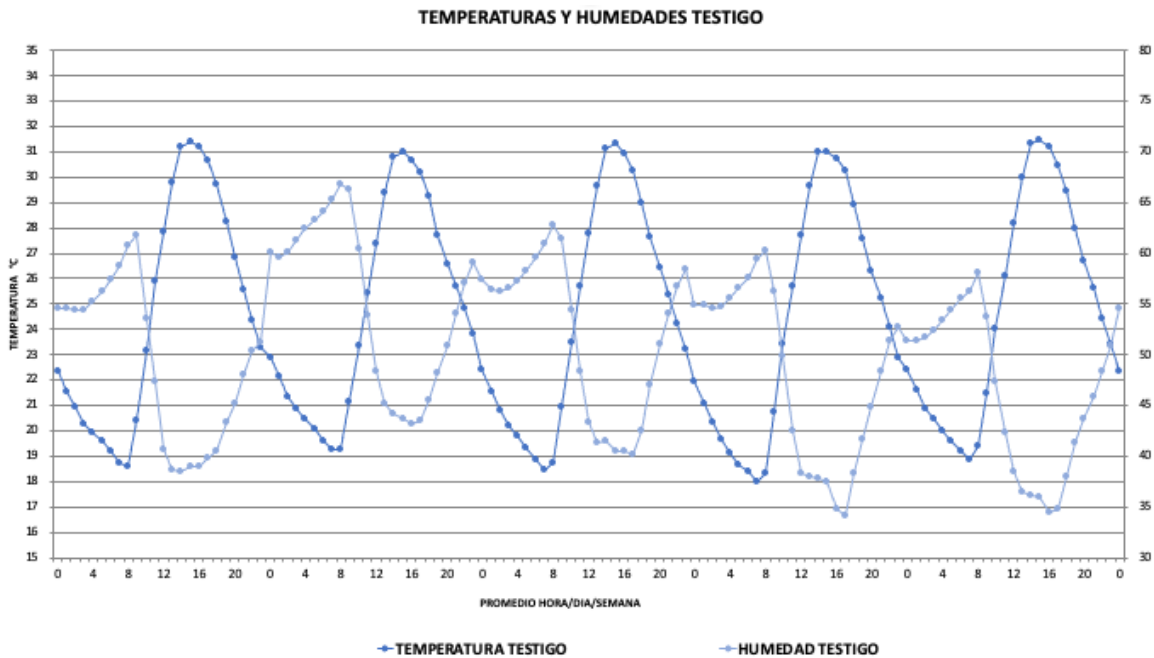


Ilustración 45.- Ejemplo de Grafica, Fuente: Propia.

Una vez realizado el proceso de normalización de datos de los 35 días, la cantidad exacta de datos que resultaron después de realizar el proceso **hora, día semana** fue de **120 datos** por cada sensor y teniendo los promedios semanales, se realizó la graficación independiente de cada sensor, esto con el objetivo de ir analizando el comportamiento que se presentaba, tanto al interior de los módulos como en la parte exterior.

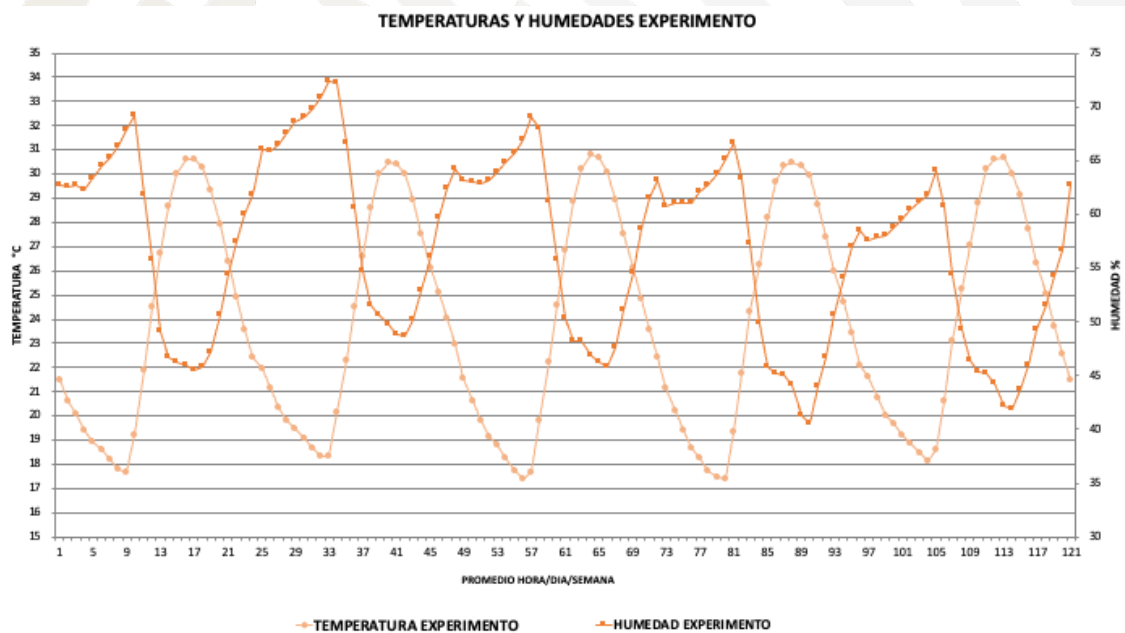
En el gráfico correspondiente a la Ilustración 46 se muestran los resultados de temperatura y humedades horarias correspondientes al sensor del módulo testigo durante las 5 semanas experimentales en el podemos observar que a mayor temperatura menor humedad y de manera inversa a mayor humedad menor temperatura.





**Ilustración 46.- Grafica de datos normalizados por semana modulo testigo, Fuente: Propia.**

Igualmente, la Ilustración 47 veremos el comportamiento que se tiene ahora en el módulo experimental, siguiendo el mismo comportamiento explicado con anterioridad.



**Ilustración 47.- Grafica de datos normalizados por semana modulo experimento, Fuente: Propia**

Por último, se presenta en la Ilustración 48 la gráfica del medio ambiente que se presenta en color amarillo con las mismas consideraciones de los gráficos anteriores.

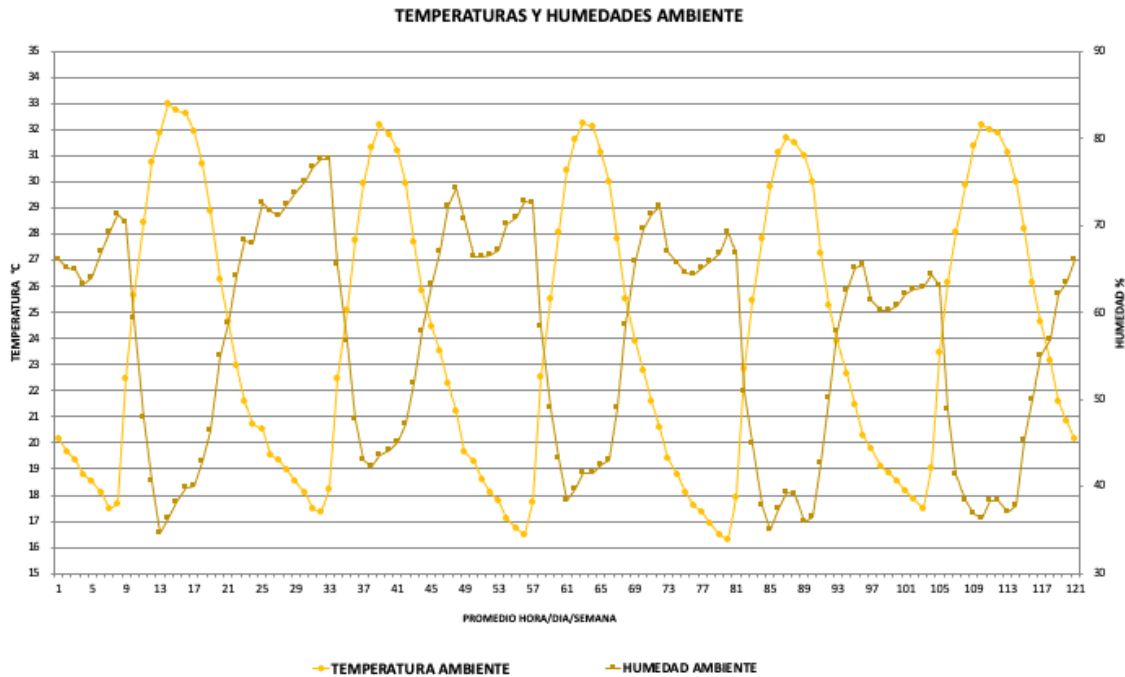
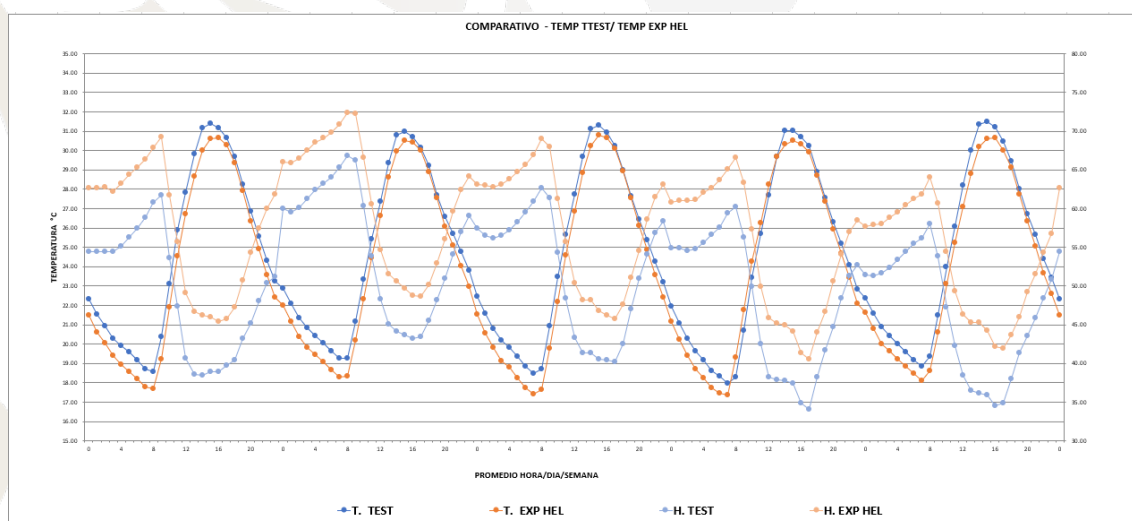


Ilustración 48.- Grafica de datos normalizados por semana modulo ambiente, Fuente: Propia

En el análisis de las tres graficas antes mencionados se observa un comportamiento muy simétrico en relación a las temperaturas entre los sensores, con una diferencia aproximada de 2 °C., con respecto a las humedades relativas se aprecia un diferencial de aproximadamente 11% entre los módulos.

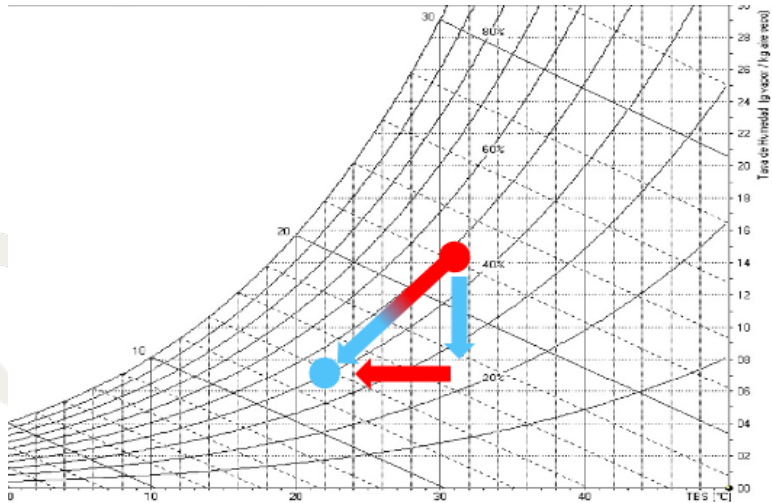
Posterior a realizar la representación gráfica de cada sensor, tanto para la variante de **temperatura**, así como la de **humedad**, se realizó un cruce de datos entre sensores, con el objetivo de relacionar los datos y poder tener un comparativo gráfico (Ilustración 49), permitiendo tener las herramientas necesarias para poder validar o discernir nuestra **hipótesis** mencionada en el capítulo 1 de este trabajo, en ella observamos que sin embargo revisando el comparativo interno entre modulo testigo (línea azul) y modulo experimental (línea anaranjada), existe un rango de diferencia entre 0.20 °C y 1.37 °C, estos valores se

pueden apreciar directamente en la gráfica, donde se muestra que la línea que representa al sensor experimental, permanece durante las 5 semanas por debajo de la línea de referencia que marca el módulo testigo. Al realizar el comparativo en la misma grafica la variante humedad, entre el módulo testigo y experimental, se puede observar como el módulo que tiene las plantas, se mantiene por encima de la línea de referencia que marca el módulo testigo. Hablando de números concretos hay un rango de diferencia entre módulos, que parte de 4% como valor mínimo y 10% como rango máximo.



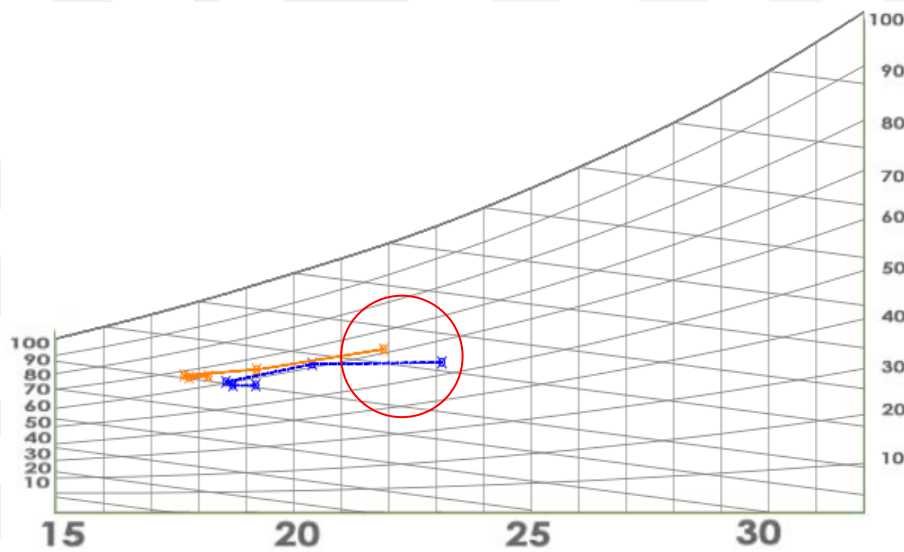
**Ilustración 49.- Comparativo grafico lineal humedad - temperatura, Fuente: Propia.**

Ahora bien, lo que se pretendía comprobar de la hipótesis está basada en un enfriamiento causado por la pérdida de humedad como se muestra en el grafico siguiente (Ilustración 50), en él se muestra como al aplicar el calor latente (flecha azul) en un sistema pierde humedad y posteriormente mediante energía provocar calor sensible (flecha roja) bajando la temperatura, permaneciendo a la misma presión de vapor.



**Ilustración 50.- Análisis psicrométrico de enfriamiento por pérdida de humedad, Fuente: Propia.**

Posteriormente y continuando con el proceso y análisis de los resultados pudimos encontrar que el comportamiento de la experimentación siguió el enfriamiento sensible, ya que perdió temperatura, pero gana humedad relativa, permaneciendo la presión de vapor constante (Ilustración 51).

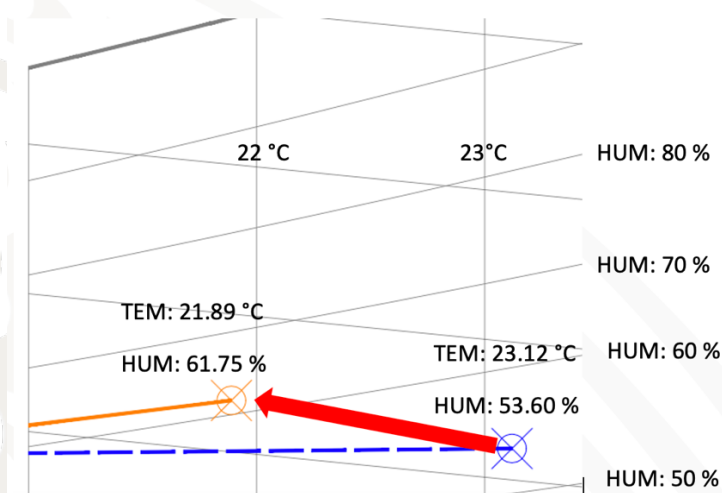


**Ilustración 51.- Análisis comparativo del comportamiento higrotérmico, Fuente: Propia**

En el siguiente grafico Ilustración 52 se muestran a manera de ejemplo un acercamiento del comportamiento higrotérmico del experimento, mostrando los valores

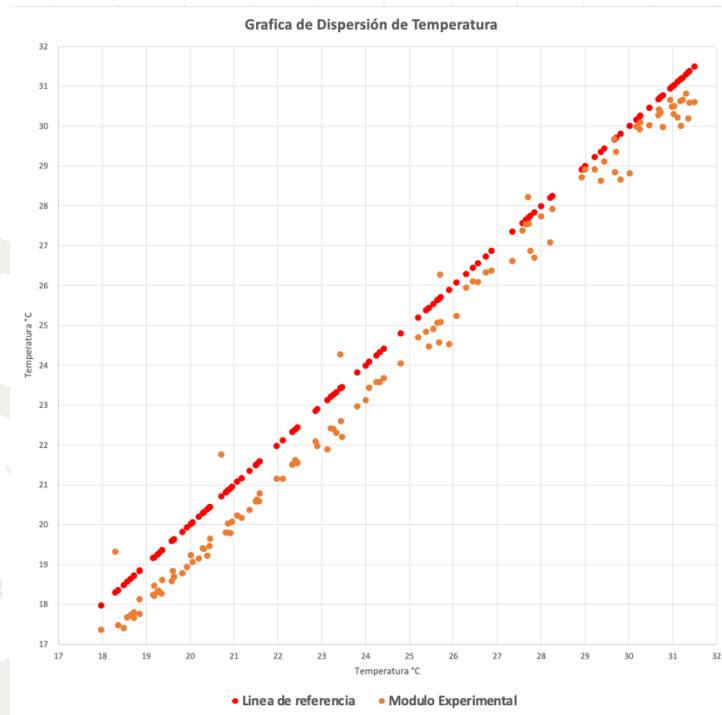


del módulo testigo en color azul de temperatura de 23.12 °C y humedad relativa 53.60% y de igual manera se muestra los valores del módulo experimental en color anaranjado siendo estos valores de 21.89 °C y 61.75 % de humedad relativa, contrario a lo esperado en la experimentación; se ganó humedad sin embargo se obtuvo una reducción en la temperatura.



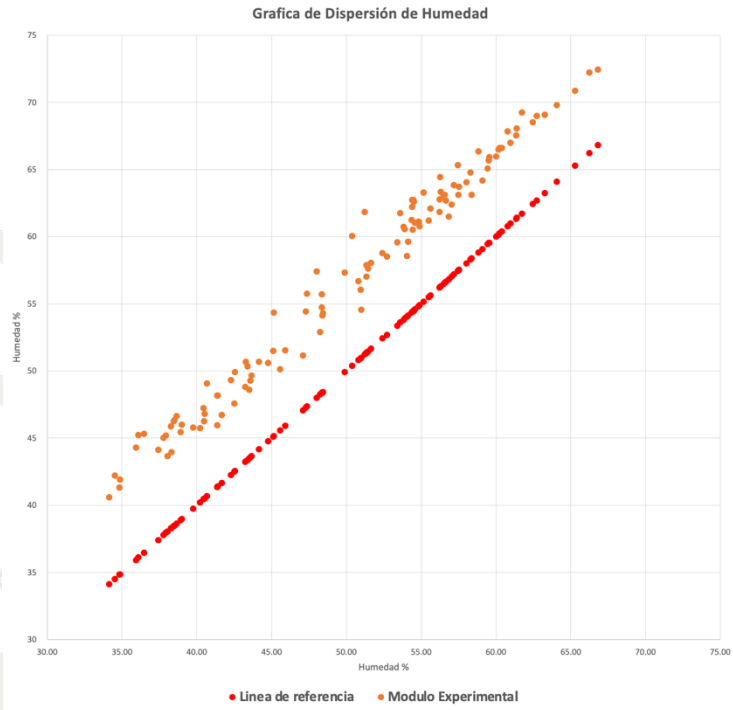
**Ilustración 52.- Zoom del comportamiento higrotérmico, Fuente: Propia.**

Se realizó un comparativo de tipo dispersión, buscando obtener la correlación que existe entre los datos testigo con respecto al experimental. Se puede observar la línea de tendencia ideal cuando el modelo experimental es igual al testigo, evidenciando la línea con una tendencia diagonal de 45°, cuando los valores dan por debajo de la línea de referencia nos indican que los resultados experimentales se encuentran por debajo de los valores del modelo testigo, en caso contrario si la gráfica presenta valores por encima de la línea de 45° significan que los resultados serán más altos que el testigo. En el caso de esta experimentación y lo que observamos en la Ilustración 53 es que el 95% de las temperaturas presentadas están por debajo de la línea de 45°, con base a estos datos presentados gráficamente se confirma la reducción de temperatura al interior del módulo experimental con base a la referencia del módulo testigo.



**Ilustración 53.-Gráfico de dispersión temperatura, Fuente: Propia.**

Para entender el comportamiento que presentaron los módulos, el testigo vs el experimental, se creó esta grafica de tipo dispersión entre valores de humedad relativa (Ilustración 54), en ellas se puede observar los valores por encima de la línea de 45°, lo que nos indica que la humedad dentro del módulo experimental sufrió un incremento en su humedad relativa comparativamente con el testigo.



**Ilustración 54.- Grafico de dispersión humedad relativa, Fuente: Propia.**

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES

El presente trabajo tuvo como objetivo general el analizar el desempeño de un sistema **deshumidificante** pasivo a partir de vegetaciones tipo **epifitas**. Para este estudio se utilizó las especies de **helechos Boston** (*Nephrolepis Exaltata*) que permita crear espacios confortables, por medio de la reducción de la humedad relativa. Se cumplió de manera parcial ya que fue posible la realización de los módulos experimentales, así como la experimentación, sin embargo, la vegetación no redujo la humedad, si no de manera contraria, realizando un incremento en el interior del módulo.

De los objetivos particulares el que menciona “Analizar y diseñar un prototipo deshumidificante pasivo, el cual permita la sustracción de humedad del aire” se cumplió de manera parcial, fue posible diseñar y construir los prototipos sin embargo no resulto favorable para la sustracción de la humedad relativa en su interior.

En relación al objetivo de “Construir módulos experimentales para analizar el comportamiento de un sistema deshumidificante pasivo” se cumplió totalmente, ya que fue posible desarrollar la construcción del módulo experimental, así como del testigo en los que se realizó la experimentación.

Siguiendo con los objetivos particulares el que menciona “Poner a prueba el prototipo deshumidificante con la vegetación seleccionada (**Helechos Boston “Nephrolepis Exaltata”**) en los módulos diseñados”. Se cumplió de manera total ya que fue posible poner en funcionamiento dicho dispositivo con la vegetación seleccionada.

Hablando del objetivo que se refería a “Obtener datos precisos de humedad y temperatura de los módulos por medio de sensores de temperatura de bulbo seco y humedad relativa”. Se cumplió de manera satisfactoria, debido a que se obtuvieron alrededor de 150 mil datos de registro entre los tres sensores.

Por último, en el objetivo que menciona “Comprobar si hay una reducción de humedad y temperatura en los módulos por medio de los datos obtenidos de los sensores (**HOBO Data Logger**)”, se cumplió parcialmente ya que los datos obtenidos mostraron lo contrario a lo que se esperaba, puesto que la humedad relativa presentó un aumento en el



del 10% en relación al módulo testigo, mientras que en el caso de las temperaturas presento una reducción de alrededor 1.30 °C en promedio.

Partiendo de la **hipótesis** que a la letra dice “Desarrollar las condiciones adecuadas de un espacio confortable mediante el diseño y uso de un sistema deshumidificador pasivo, utilizando el flujo del aire presente, así como las propiedades de absorción que tiene los **helechos Boston** (*Nephrolepis Exaltata*), generando una reducción térmica al interior de los espacios habitables en un clima cálido subhúmedo.”.

Hablando específicamente de la **humedad relativa**, se afirma que la hipótesis es **nula**, debido a los resultados observados en el módulo experimental. Se llega a esta conclusión con base al análisis de datos realizado, al comparar **modulo experimental vs modulo testigo y modulo experimental vs modulo exterior**. Dichos resultados no fueron favorables para esta investigación, ya que el exceso de humedad al interior del módulo experimental, es debido al riego que se realizaba cada que se extraían los datos de los sensores, este factor considero que es la variable que generó la diferencia de registros entre los sensores. Por otra parte, el tiempo que se dejaba drenando el agua de las macetas no fue el suficiente.

En los valores registrados de humedad relativa, que se obtuvieron al realizar el promedio de dicha experimentación, se puede constatar que existe una gran diferencia entre el módulo experimental y el testigo, ya que se marcó un promedio de **10%**. por otra parte, donde casi no hay diferencia es en los resultados comparativos entre modulo experimental y exterior, ahí la diferencia promedio que se obtuvo fue de **1.56%**.

Hablando específicamente de la **temperatura**, se afirma que la hipótesis es **positiva**, ya que la diferencia entre los valores promedios registrados fue entre **0.20 °C** hasta **1.37 °C** de reducción al interior del módulo experimental, con referencia al módulo testigo donde se registraron los siguientes valores, el promedio del módulo experimental es de 24.57 °C y del módulo testigo 25.90 °C, la diferencia que presenta el módulo experimental con respecto al módulo maestro es de **5.01%**.

A partir de aquí se puede considerar como una hipótesis cumplida **parcialmente**, ya que los resultados de la **humedad** no fueron favorables, pero a su vez en la variante de **temperatura**, presenta una reducción, esto se puede considerar como un valor positivo para poder ser implementado en futuras investigaciones.

A partir de los resultados obtenidos podemos concluir que el tipo de vegetación seleccionada para esta investigación denominada Helechos Boston “Nephrolepis Exaltata” no es adecuada.

Otro punto importante se refiere al diseño de los prototipos, así como el procedimiento considerado para el manejo de la vegetación no fue el adecuado, principalmente por que se mezclaba la humedad interna ya que las macetas intercambiaban su humedad con el sistema diseñado.

Es importante darnos cuenta que a diferencia de un sistema de aire acondicionado cerrado es factible controlar las variables y poder bajo el procedimiento de compresión y evaporación eliminar la humedad relativa en el interior del espacio, mientras en un ambiente abierto como es el caso del dispositivo pasivo propuesto su control es sumamente complicado.

Como principal aportación, es el conocimiento que se generó a lo largo de esta investigación, donde se confirma de manera parcial los efectos y ganancias que se tienen al implementar los helechos al interior de un espacio habitable.

Se considera como punto de partida para una segunda investigación de forma doctoral, la implementación de un sistema pasivo activo el cual permita canalizar la humedad relativa por medio de vegetación y sistemas mecánicos hacia un área habitable.

---

## RECOMENDACIONES PARA TRABAJO A FUTURO

Se recomienda con respecto al aumento de humedad que se generó al regar las plantas, tener un sensor que pueda marcar el porcentaje de humedad que se tiene antes de introducirlas en los módulos experimentales, con dicho sensor se podrá estar, controlando el porcentaje que se tiene, o mantener el registro para después hacer un comparativo de reducción con esos datos obtenidos.

Afinar el diseño y funcionamiento de los prototipos, ya que puede ser posible proponer una cámara separada entre las macetas y la vegetación para evitar combinar la humedad dentro del espacio correspondiente a la investigación y optimizar el supuesto comportamiento de la fronda en el sistema; con esta acción se evitará la sustracción de la vegetación del módulo y los posibles fallos provocados por este procedimiento.

Por otra parte, es recomendable programar los sensores en un intervalo de recolección de datos como mínimo a cada hora durante todo el proceso experimental.

---

## NUEVAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuál será el desempeño térmico que pueda presentar la vegetación en una temporada de lluvia?
2. ¿Cuál será la vegetación más adecuada pensando entre plantas desérticas y los helechos?
3. ¿Cuál será el valor máximo que se pueda llegar a reducir temperatura y humedad si se utiliza un sistema mixto activo (ventilas), pasivo (vegetación), en los módulos experimentales?
4. ¿Cuál sería el desempeño del sistema pasivo si se aumenta la entrada del aire y se reduce la salida?

## BIBLIOGRAFÍA

1. Larry, W. (2012). *RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A LA TEMPERATURA AMBIENTE*. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+42.+Calor+y+fr%C3%ADo>
2. Licón, J. (2018). *ALCANCE DEL EFECTO DE ENFRIAMIENTO DE UN ELEMENTO VEGETAL: CASO FICUS BENJAMINA Y BOUGAINVILLEA SPECTABILIS*. Tesis de Maestría, Universidad de Colima, Facultad de Arquitectura y Diseño, Colima.
3. Liggett, R., & Milne, M. (2020). *Climate Consultant Download Page*. Obtenido de <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>
4. CONABIO. (2016). *La biodiversidad en Colima, Estudio de Estado*. Obtenido de [https://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/Biodiversidad\\_Colima\\_2016.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/Biodiversidad_Colima_2016.pdf)
5. Creswell, J. (2014). *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4ta ed.). Thousand Oaks: Sage Publications. Obtenido de [http://fe.unj.ac.id/wp-content/uploads/2019/08/Research-Design\\_Qualitative-Quantitative-and-Mixed-Methods-Approaches.pdf](http://fe.unj.ac.id/wp-content/uploads/2019/08/Research-Design_Qualitative-Quantitative-and-Mixed-Methods-Approaches.pdf)
6. Creu Solé, A. (2011). *INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL* (8 ed.). Barcelona: Marcombo. Obtenido de [https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-02-11\\_11-19-12139942.pdf](https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-02-11_11-19-12139942.pdf)
7. López de Asiain, M. (2003). *Estrategias Bioclimáticas en la Arquitectura*. Obtenido de [http://ubonline.ags.up.mx/librosdigitales/ESTRATEGIAS\\_BIOCLIMATICAS\\_EN\\_ARQUITECTURA.pdf](http://ubonline.ags.up.mx/librosdigitales/ESTRATEGIAS_BIOCLIMATICAS_EN_ARQUITECTURA.pdf)
8. López, Á. (2017). *ESTUDIO Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS BIOCLIMÁTICOS. CASO PRÁCTICO: LAS FACHADAS DEL EDIFICIO C1 DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE LA EDIFICACIÓN DE LA UPV*. Obtenido de [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/106523/L%C3%B3pez%20Vall%C3%A9s\\_%C3%81lvaro\\_Estudio%20y%20an%C3%A1lisis%20de%20par%C3%A1metros%20bioclim%C3%A1ticos.%20Caso%20pr%C3%A1ctico.%20Las%20fachadas%20del%20edificio%20C1%20de%20la%20ETSIE%20de%20la%20](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/106523/L%C3%B3pez%20Vall%C3%A9s_%C3%81lvaro_Estudio%20y%20an%C3%A1lisis%20de%20par%C3%A1metros%20bioclim%C3%A1ticos.%20Caso%20pr%C3%A1ctico.%20Las%20fachadas%20del%20edificio%20C1%20de%20la%20ETSIE%20de%20la%20)
9. Álvarez, F. (2016). *Hacia la aplicación de estrategias bioclimáticas con tecnologías sustentables*. Obtenido de <https://rei.iteso.mx/bitstream/handle/11117/5529/1Estrategias%20bioclim%C3%A1ticas%20con%20tecnolog%C3%ADas%20sustentables.pdf?sequence=2&isAllowed=y>



10. American Society of Heating. (2005). *Refrigerating and Air-conditioning Engineers*. New York: ASHRAE.
11. Ayuntamiento de COLIMA. (2014). *Reglamento de Construcciones Para el Municipio de Colima* . Obtenido de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/COLIMA/Municipios/Colima/CLIReg5.pdf>
12. Barranco, O. (2014). LA ARQUITECTURA BIOCLIMATICA. *Módulo Arquitectura CUC*, 31-40. Obtenido de [https://revistascientificas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/view/733/pdf\\_77](https://revistascientificas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/view/733/pdf_77)
13. Bonilla, E., Hurtado, J., & Jaramillo , C. (2011). *La investigación : aproximaciones a la construcción del conocimiento científico*. Bogota: Alfaomega.
14. Bredber, D. (1956). The difusion of water vapour through human skin. *Journal of Physilogy*, 132, 225-231.
15. EADIC. (2013). *Tema 3. Arquitectura Bioclimática*. Obtenido de <http://eadic.com/wp-content/uploads/2013/09/Tema-3-Confort-Ambiental.pdf>
16. Energia Solar. (2027). *Radiación Solar*. Obtenido de <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/radiacion-solar>
17. Esparza, C. (2015). *ESTUDIO EXPERIMENTAL DE DISPOSITIVOS DE ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO INDIRECTO INDIRECTO*. Tesis Doctoral, Universidad de Colima, Facultad de Arquitectura y Diseño, Colima.
18. Flor de Planta. (25 de Noviembre de 2021). *Helechos: Características y cultivo de Nephrolepis exaltata*. Obtenido de <https://www.flordeplanta.com.ar/plantas-interior/helechos-caracteristicas-y-cultivo-de-nephrolepis-exaltata/>
19. Fanger, P. (1967). Calculation of thermal confort: Introduction of basic confort equation. *ASHRAE Transactions*, 73.
20. Ferrando, E. (1992). *El derecho a una vivienda digna y adecuada*. Obtenido de <file:///D:/Descargas/Dialnet-ElDerechoAUnaViviendaDignaYAdecuada-142220.pdf>
21. Fuentes Freixanet, V. (1993). *VENTILACIÓN NATURAL^ CÁLCULOS BÁSICOS PARA ARQUITECTURA*. Obtenido de [https://www.academia.edu/23051061/V%C3%8DCTOR\\_ARMANDO\\_FUENTES\\_FREIXANET\\_MANUEL\\_RODR%C3%8DGUEZ\\_VIQUEIRA\\_UNIVERSIDAD\\_AUTONOMA\\_METROPOL\\_%C3%8DANA](https://www.academia.edu/23051061/V%C3%8DCTOR_ARMANDO_FUENTES_FREIXANET_MANUEL_RODR%C3%8DGUEZ_VIQUEIRA_UNIVERSIDAD_AUTONOMA_METROPOL_%C3%8DANA)

22. Gonzalo, G. (2015). *MANUAL DE ARQUITECTURA BIOCLÍATICA Y SUSTENTABLE*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/337772555\\_Manual\\_de\\_Arquitectura\\_Bioclimatica/download](https://www.researchgate.net/publication/337772555_Manual_de_Arquitectura_Bioclimatica/download)
23. GOOGLE . (2020). *GOOGLE MAPS* . Obtenido de <https://www.google.com.mx/maps>
24. GOOGLE. (2020). *Google Imágenes*. Obtenido de <https://www.google.com.mx/imghp?hl=es>
25. Guzmán, J., & Rafael, J. (2014). EL FRÍO Y LA AUSENCIA DE CALOR. *Ciencia y Sociedad*, 39(1), 101-120. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/870/87031229005.pdf>
26. Hensel, H. (1981). *Thermoreception and temperature regulation*. London: Academic Press.
27. Hernández , R., Fernández , C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. Obtenido de <https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>
28. Herrero, M. A. (2020). *Caracterización de instalaciones de climatización*. Obtenido de <https://books.google.com.mx/books?id=I31XDwAAQBAJ&pg=PA80&lpg=PA80&dq=Climograma+de+Baruch+Givoni+aplicado+a+los+climas+muy+c%C3%A1lido,+templado+y+muy+fr%C3%ADo+h%C3%BAmedos+de+la+Argentina&source=bl&ots=X9v5IjZMU1&sig=ACfU3U3mpfvRHU7dUa28GpTZqXaL3WCc7Q&>
29. INEGI. (2015). *México en cifras, Colima*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=06>
30. INEGI. (2020). *Climatología*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/>
31. Malchaire, J. (2012). *FUNDAMENTOS FISICOS DEL TRABAJO EN CONDICIONES DE CALOR*. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+42.+Calor+y+fr%C3%ADo>
32. Marsh, A. (2020). *Psychrometric Chart*. Obtenido de <http://andrewmarsh.com/>
33. Martínez, I. (1992). *Termodinámica del aire húmedo*. Madrid, España: DOSSAT. Obtenido de <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/c08/Termodinamica%20del%20aire%20humedo.pdf>
34. Mayorga, E. (2018). *INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DEL BIENESTAR TÉRMICO HUMANO*. Obtenido de <https://portaldelaarquitecturabioclimatica.files.wordpress.com/2018/09/introduccc3b3n-al-estudio-del-bienestar-tc3a9rmico-humano.pdf>
35. Mendoza, A., Ceja, J., & Pérez, B. (2016). *HELECHOS Y LICOFITOS EPÍFITOS DE VERACRUZ, MÉXICO*:. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/228849475.pdf>

36. Mendoza, J., & Garza, J. (2009). *La medición en el proceso de investigación científica: Evaluación de validez de contenido y confiabilidad*. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/12508/1/A2.pdf>
37. Morillón, D. (2002). *INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS PASIVOS DE ENFRIAMIENTO*. Obtenido de <https://vdocuments.mx/introduccion-a-los-sistemas-pasivos-de-enfriamiento.html>
38. Morris, A., & Langari, R. (2012). *Measurement and Instrumentation*. Butterworth-Heinemann. doi:<https://doi.org/10.1016/C2009-0-63052-X>
39. Naturalista. (25 de Noviembre de 2021). *Helecho Boston*. Obtenido de <https://www.naturalista.mx/taxa/130866-Nephrolepis-exaltata>
40. Nielsen, B. (2012). *EFFECTOS DEL ESTRES POR CALOR Y TRABAJO EN AMBIENTES CALUROSOS*. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+42.+Calor+y+fr%C3%ADo>
41. Nunneley, S. (2012). *PREVENCIÓN DEL ESTRES*. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+42.+Calor+y+fr%C3%ADo>
42. Olgay, V. (2016). *Arquitectura y Clima, Manual de Diseño Bioclimático Para Arquitectos y Urbanistas*. Barcelona, España: GILI.
43. Ogawa, T. (2012). *TRASTORNOS PRODUCIDOS POR EL CALOR*. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+42.+Calor+y+fr%C3%ADo>
44. ONSET. (2020). *HOBO DATALOGGER*. Obtenido de <https://www.onsetcomp.com/>
45. ONSET. (2021). *HOBOWare Free Download*. Obtenido de <https://www.onsetcomp.com/>
46. Pérez, A. (2020). *La Vivienda Familiar*. Obtenido de <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/5/2108/29.pdf>
47. Ríos, E. (2013). *Diseño y Análisis De Un Sistema Cuasi-Pasivo Para La Deshumidificación De Espacios*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, D. F. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/6410/1/Tesis.pdf>
48. Rodríguez, M. (2001). *Introducción a la Arquitectura BIOCLIMÁTICA*. D.F., México: Limusa Noriega.
49. S&P. (2018). *Humedad relativa, específica y absoluta*. Obtenido de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/humedad-relativa-especifica-absoluta/>

50. S&P. (2019). *Patologías en edificaciones: cuáles son las más frecuentes y cómo se originan*. Obtenido de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/patologias-edificaciones/>
51. Sánchez, A. (2011). *Manual de Redacción Académica e Investigativa. Cómo escribir, evaluar y publicar artículos*. Obtenido de <https://www.ucn.edu.co/institucion/sala-prensa/documents/manual-de-redaccion-mayo-05-2011.pdf>
52. Sánchez, J. (2012). *LA VIVIENDA "SOCIAL EN MÉXICO", ¿PASADO, PRESENTE Y FUTURO?* Obtenido de <http://conurbamx.com/home/wp-content/uploads/2015/05/libro-vivienda-social.pdf>
53. Saldaña, T., Juárez, J., & Villar, C. (2014). *Las plantas epífitas, su diversidad e importancia*. Obtenido de <https://saberesciencias.com.mx/2014/04/01/las-plantas-epifitas-su-diversidad-e-importancia/>
54. Spirm, A. W., Naude, A., Johnson, D., Harder, L., & Rios, M. (1981). *PLANTS FOR PASSIVE COOLING, A PRELIMINARY INVESTIGATION OF THE USE OF PLANTS FOR PASSIVE COOLING IN TEMPERATE HUMID CLIMATES*. Obtenido de <https://doi.org/10.2172/5450077>
55. Tamayo, M. (2002). *El proceso de la investigación científica* (4ta ed.). Ciudad de México: LIMUSA. Obtenido de <http://evirtual.uaslp.mx/ENF/220/Biblioteca/Tamayo%20Tamayo-EI%20proceso%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%20cient%C3%ADfica2002.pdf>
56. Ulsamer, F. (1983). *Las Humedades en la Construcción*. barcelona, España: Ediciones CEAC.
57. Velasco, J. (2005). *Cuantificación y análisis de la erosión hídrica en el estado de Colima, mediante técnicas de percepción remota y SIG*. Colima: UCOL.



## ANEXOS

### ABREVIATURAS

- **INEGI:** Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- **CONABIO:** Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- **CLO:** Ropa.
- **MET:** Actividad metabólica.
- **CONAFOVI:** Comisión Nacional del Fomento a la Vivienda.
- **CONAVI:** Comisión Nacional de Vivienda.
- **EPW:** Energy Plus Weather.
- **ITC:** Instituto tecnológico de Colima

### ECUACIONES

- **Convección:**  $C = h_c F_{clC} (t_{sk} - t_a)$
- **Pérdida de calor por convección:**  $QC = A_{Du} f_{cl} h(T_{cl} - T_{\infty})$
- **Evaporación:**  $E_{max} = h_e F_{pcl} (P_{sk,s} - P_a)$
- **Humedad relativa:**  $HR = 100 \cdot P_a / P_{s,ta}$
- **Presión de saturación:**  $P_{s,t} = 0.6105 \cdot e^{\left[ \frac{17.27 \cdot t}{t + 236.3} \right]}$
- **Velocidad del aire:**  $V_a = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$
- **Punto de confort:**  $S = [(M - W) \pm C \pm R] \cdot (1/re)$
- **Balance térmico:**  $H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = Q_k = Q_R + Q_C$
- **Pérdida de calor por difusión en la piel:**  $E_d = h_{fg} K A_{Du} (P_s - P_v)$
- **Diferencia de Temperatura °C=** (temperatura base (modulo experimental) – temperatura modulo (maestro o exterior))\*(-1)
- **% de temperatura** =((temperatura modulo (maestro o exterior)\*100%)/ temperatura base (modulo experimental))-100%
- **Valor Promedio**= 60 datos registrados x hora / 60

## UNIDADES

- $P_{sk,s}$ : Presión saturada del vapor de agua.
- $P_a$ : Presión parcial de vapor de agua en el ambiente.
- $PS_{ta}$ : Presión del vapor saturado asociada a la temperatura del aire.
- $P_{s,tw}$ : Presión de vapor saturado.
- $P_a$  , **kPa**: Presión parcial de vapor de agua
- $h_e$ : Coeficiente de intercambio por evaporación.
- $h_c$ : Coeficiente de convección.
- $F_{clc}$ : Factor de reducción del intercambio de calor.
- $F_{pcl}$ : Factor de reducción del intercambio por evaporación.
- $t_w$ : Temperatura de bulbo húmedo.
- $t_d$  , °C: Temperatura punto de rocío.
- $T_{mr}$ : Temperatura radiante.
- $T_a$ : Temperatura del aire.
- **Kg**: Kilogramo.
- **Gr**: Gramos.
- °C: Grados centígrados.
- **Cm<sup>2</sup>**: Centímetros cuadrados.
- **Cm<sup>3</sup>**: Centímetros cúbicos.
- **W/m<sup>2</sup>**: Vatios por metro cuadrado.
- $V_a$ : Velocidad del aire.
- $V$ : Velocidad del aire.
- **m/s**: metros sobre segundo.
- $E_{max}$ : Evaporación es máxima
- **kPa**: kilo Pascal.
- **HR**: Humedad relativa.
- **Kcal/h**: Kilo calorías por hora
- **Seg**: Segundo

## BOCETOS



Imagen 29.- Idea previa de diseño de módulos, Fuente: Propia

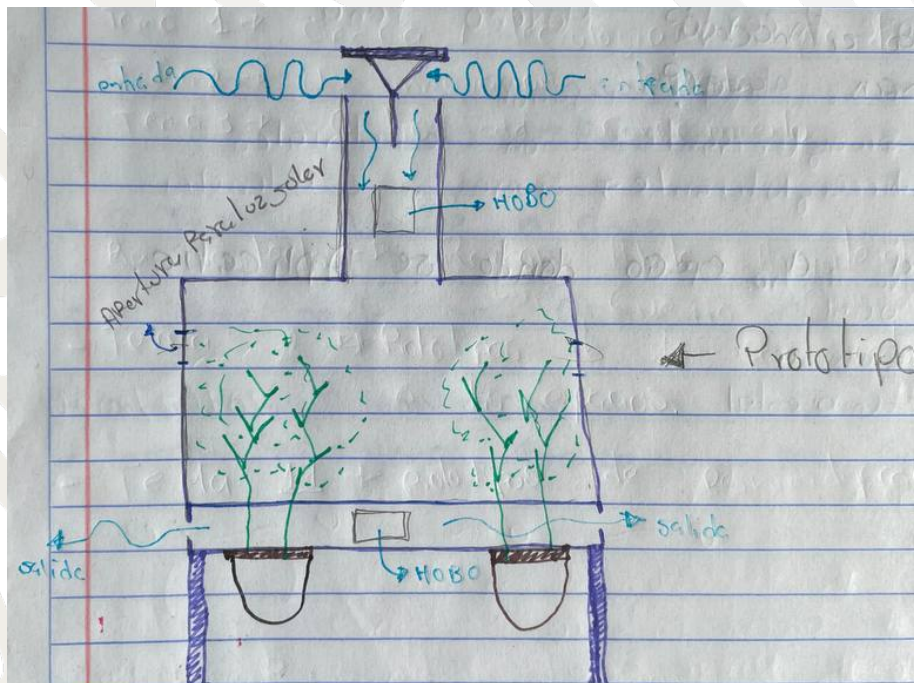


Imagen 30.- Idea previa de diseño de módulos, Fuente: Propia