Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en artes en Energía y Ambiente

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS JARDINES VERTICALES SOBRE EL MICROCLIMA EN EDIFICIOS DE CONCRETO

Arq. Claudia María Taracena Parada
Asesorado por el Ms.Ing. Nicolás Guzmán

Guatemala, junio de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS JARDINES VERTICALES SOBRE EL MICROCLIMA EN EDIFICIOS DE CONCRETO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ARQ. CLAUDIA MARÍA TARACENA PARADA

ASESORADO POR EL MS. ING. NICOLÁS GUZMÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRA EN ARTES EN ENERGIA Y AMBIENTE

GUATEMALA, JUNIO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Núñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR/A	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
EXAMINADOR/A	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADOR/A	Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
SECRETARIO/A	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

Evaluación de los efectos de los jardines verticales sobre el microclima en edificios de concreto

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Postgrados de la Facultad de Ingeniería, con fecha junio de 2015.

Arq. Claudia María Taracena Parada

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser el centro de mi universo y haber bendecido mis decisiones y darme fuerza en este camino, por cuidarme y ser ese padre amoroso que es en mi vida

Mi madre

Liliana Taracena Parada, por hacer de mí una mujer empoderada, honesta y de carácter, por ser mi ejemplo de lucha y sacarme adelante.

Mi tía

Angélica Taracena Parada †; por haber sido una animadora, una consejera, una confidente, en donde quiera que estés tiita, siempre estarás en mi corazón y te abrazo en mis sueños.

Mi amor

Gustavo Adolfo Lima Pérez, por ser mi sustento y fuerza, por ser el equilibrio y la paz de mi vida, Dios me bendijo con tu compañía y tu amor, gracias por tu paciencia y apoyo, gracias por sacrificar tu tiempo para que yo realizara este sueño.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por ser el centro de mi vida, la energía de mi rededor e interior.
Mi madre	Por todo la dedicación y amor.
Msc. Ing. Nicolás Guzmán	Por la paciencia y sabiduría en la asesoría, gracias por el apoyo recibido durante todo este tiempo, por fue una gran guía un gran guía en este camino de investigación.
M.V. Leónidas Ávila Palma **Director del Centro Universitario de El Progreso de la Universidad de San Carlos de Guatemala**	Por el apoyo brindado en esta investigación, por siempre tener palabras de calma y ánimo, para finalizar este trabajo de graduación. Gracias por ser un mentor.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Mi alma máter y querida universidad, por ser esa fuente de sabiduría y conocimiento constante, porque me ha formado y me ha dado el pan de cada día.

Escuela de Estudios de Postgrado, Edificio S-11
Teléfono: 2418 9142 / 24188000 ext. 1382
WhatsApp: 5746 9323
Email: informacion_eep@ing.usac.edu.gt

Ref.APT-2018-013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente titulado: **"EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS JARDINES VERTICALES SOBRE EL MICROCLIMA EN EDIFICIOS DE CONCRETO"** presentado por la Arquitecta **Claudia María Taracena Parada**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, junio de 2018.

Cc: archivo/L.Z.L.A.

ESCUELA DE ESTUDIOS DE
POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela de Estudios de Postgrado, Edificio S-11
Teléfono: 2418 9142 / 24188000 ext. 1382
WhatsApp: 5746 9323
Email: informacion_eep@ing.usac.edu.gt

https://postgrado.ingenieria.usac.edu.gt

Ref.APT-2018-013

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado **"EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS JARDINES VERTICALES SOBRE EL MICROCLIMA EN EDIFICIOS DE CONCRETO"** presentado por la Arquitecta **Claudia María Taracena Parada,** correspondiente al programa de Maestría en Artes en Energía y Ambiente; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
DE GUATEMALA

MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, junio de 2018.

Cc archivo/L.Z.L.A.

Escuela de Estudios de Postgrado, Edificio S-11
Teléfono: 2418 9142 / 24188000 ext. 1382
WhatsApp: 5746 9323
Email: informacion_eep@ing.usac.edu.gt

Ref.APT-2018-013

Como Coordinador de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente del Trabajo de Graduación titulado **"EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS JARDINES VERTICALES SOBRE EL MICROCLIMA EN EDIFICIOS DE CONCRETO"** presentado por la Arquitecta **Claudia María Taracena Parada,** apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
COORDINACIÓN DESARROLLO SOCIO AMBIENTAL Y ENERGÉTICO
ESCUELA DE POSTGRADO

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador(a) de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Guatemala, junio de 2018.

Cc archivo/L.Z.L.A.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES III
ÍNDICE DE TABLAS V
Símbolos VII
GLOSARIO IX
RESUMEN XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA XVII
OBJETIVOS XXI
RESUMEN MARCO METODOLÓGICO XXIII
INTRODUCCIÓN XXV
1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL 1
1.1. Generalidades de los jardines verticales 1
1.1. Tipos de jardines verticales 2
1.2. Los jardines verticales y la temperatura 4
1.3. Los jardines verticales y la humedad 9
1.3. Los jardines verticales y el confort 12
2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN 17
2.1. Descripción del lugar 17
2.2. Prototipo de jardín vertical con neumáticos 20
2.2.1. Materiales 20
2.4 Variables y muestreo 27
2.4.1. Variables 27
2.4.2. Muestreo 28
2.4.3. Técnicas 33
2.5 Tablas de máximos y mínimos 33
2.5.1 Encuestas de la percepción térmica con y sin Jardín vertical entre estudiantes. 34
3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 35

3.1. Medición de temperatura 35
3.2. Medición de humedad 41
3.3. Medición de percepción térmica 48
4. DISCUSIOÓN DE RESULTADOS 53
CONCLUSIONES 55
RECOMENDACIONES 57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 59
ANEXOS 63

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Detalle de vegetación en Y de PVC 3
2. Detalle de jardín vertical en vinoteca zona 10 3
3 Detalle de jardín vertical en vinoteca zona 10 4
4. Módulo del utilizado en el estudio 5
5. Un diagrama psicométrico donde se ve trazado puntos genéricos del efecto de la evaporación de agua para reducir la temperatura, a la vez de incrementar la humedad relativa (Adaptado de Ogawa, 2009) 11
6. Las tres maneras de climatizar a través de un jardín vertical 12
7. Mapa de ubicación de Guastatoya, El Progreso 18
8. Plano de ubicación del Centro Universitario de El Progreso, Universidad de San Carlos de Guatemala. 19
9. Anclaje de parales de madera a muro 21
10. Anclaje de neumáticos a parales de pino 21
11. Neumáticos utilizados como macetas 23
12. Higrometro Fluke 27
13. Planta de ubicación de puntos de medición 28
14. Elevación de ubicación de puntos de medición 29
15. Elevación detalle jardín vertical de salón 2, punto 2 29
16. Detalle jardín vertical de salón 2, punto 2 30
17. Días del mes de enero en que se tomaron datos 31
18. Días del mes de febrero en que se tomaron datos 32
19. Días del mes de marzo en que se tomaron datos 32
20. Días del mes de abril en que se tomaron datos 33
21. Temperatura promedio matutino 36
22. Temperatura promedio meridiano 36
23. Temperatura promedio nocturno 37
24. Temperatura máximo matutino 38

25. Temperatura máximo meridiano 38
26. Temperatura máximo nocturno 39
27. Temperatura mínimo matutino 40
28. Temperatura mínimo meridiano 40
29. Temperatura mínimo nocturno 40
30. Porcentaje promedio de humedad relativa de horario matutino 42
31. Porcentaje promedio de humedad relativa de horario meridiano 43
32. Porcentaje promedio de humedad relativa de horario nocturno 43
33. Porcentaje máximo de humedad relativa de horario matutino 44
34. Porcentaje máximo de humedad relativa de horario meridiano 45
35. Porcentaje máximo de humedad relativa de horario nocturno 45
36. Porcentaje mínimo de humedad relativa de horario matutino 46
37. Porcentaje mínimo de humedad relativa de horario meridiano 47
38. Porcentaje mínimo de humedad relativa de horario nocturno 47
39. Temperatura perceptible en el punto 1 49
40. Temperatura perceptible en el punto 2 50
41. Temperatura perceptible en el punto 3 50
42. Percepción estética 51

ÍNDICE DE TABLAS

I . Clasificación climática de Köppen, modificada por Trewartha & Horn. 1980..... 9
II. Ficha técnica de vegetación..... 26
III. Variables de medición..... 27
IV. División de horarios para tomar datos..... 31
V. Datos de temperatura documentados de un periodo de 30 días..... 35
VI. Datos de temperatura máximo documentados de un período de 30 días..... 37
VII. Datos de temperatura mínimo documentados de un período de 30 días..... 39
VIII. Resultados, promedio, máximos y mínimos de disminución de temperatura. 41
IX. Datos de porcentaje promedio de humedad relativa documentados de un periodo de 30 días..... 42
X. Datos de porcentaje máximo de humedad relativa documentados de un periodo de 30 días..... 43
XI. Datos de porcentaje mínimo de humedad relativa documentados de un periodo de 30 días..... 46
XII. Resultados, promedio, máximos y mínimos de incremento de humedad..... 48
XIII. Datos de temperatura y humedad relativa del 29 y 31 de marzo, días donde se realizaron las encuestas de percepción térmica. 49

SÍMBOLOS

Palabra	Significado
°C	Grados Celsius
%	Porcentaje
KW	Kilowatt
m^2	Metro cuadrado
m^3	Metro cúbico
OC	Onda Corta
OL	Onda Larga

GLOSARIO

Aislamiento térmico Es el conjunto de materiales y técnicas de instalación que se aplican en los elementos constructivos que limitan un espacio caliente, para minimizar la transmisión de calor hacia otros elementos o espacios no convenientes.

Catalizador Sustancia que acelera o retarda una reacción química sin participar en ella.

Climatizar Proporcionar a un recinto las condiciones necesarias para obtener la temperatura, humedad del aire, convenientes para la salud la comodidad de sus ocupantes.

Condensación Cambio del estado de la materia que encuentra en forma gaseosa y pasa a forma líquida. Es el proceso inverso a la vaporización.

Confort higrotérmico Estado en el que las personas no experimentan sensación de calor o de

	frío.
Diagrama psicométrico	Gráfico que representa el estudio de las propiedades termodinámicas del aire húmedo y el efecto de la humedad atmosférica en los materiales y confort humano.
Endotermos	Animales de sangre caliente que mantiene su temperatura corporal constante, independiente de la temperatura del ambiente. Como aves y mamíferos.
Eficiencia energética	Es una práctica que tiene como objetivo reducir el consumo de energía o su uso eficiente.
Evaporación	Proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso.
Evapotranspiración	Cantidad de agua del suelo que vuelve a la atmósfera como consecuencia de la evaporación y de la transpiración de las plantas.
Fluctuación	Diferencia entre el valor instantáneo de una cantidad y su valor. Fluctuación cuántica es un cambio

	temporal e indeterminable por el principio de Heisenberg de un estado de energía en otro.
Hiperventilación	Exceso de respiración que produce bajos niveles de dióxido de carbono en la sangre.
Homeostasis	Conjunto de fenómenos de autorregulación, conducentes al mantenimiento de una relativa constancia en la composición y las propiedades del medio interno de un organismo.
Humedad absoluta	Cantidad de vapor de agua que contiene el aire por unidad de volumen.
Humedad relativa	Relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que podría tener.
Incidencia solar	Variaciones en la extensión del área radiada.
Prefabricado tipo Grodan	Lana de roca para hidroponía.

Punto de rocío	Es la temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire, produce rocío, neblina, cualquier tipo de nube y si la temperatura es muy baja, escarcha.
Radiación solar	Conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol.
Refrigeración	Procedimiento técnico que hace que baje la temperatura de un lugar o mecanismo.
Rendimiento térmico	Es un coeficiente o ratio adimensional calculado como el cociente de la energía producida y la energía suministrada a la máquina, para completar el ciclo termodinámico.
Sustrato	Medio en el que se desarrolla una planta o un animal fijo.
Tensión calórica	Es la sensación de malestar que se experimenta.
Termodinámica biológica	Es el estudio cuantitativo de las transducciones de energía que ocurren entre organismos, estructuras

	y células vivas, y de la naturaleza y el funcionamiento de los procesos químicos subyacentes de estas transducciones. La termodinámica biológica puede abordar la pregunta de si el beneficio asociado con cualquier rasgo fenotípico en particular vale la inversión de energía requerida.
Termorregulación	Sistema de regular la temperatura automáticamente.

RESUMEN

Ubicados en el área denominada como corredor seco de Guatemala; el Centro Universitario de El Progreso de la Universidad de San Carlos de Guatemala, cuenta con una temperatura promedio anual de 27 °C a 34 °C y una humedad de suelo entre 1 a 10 % hace que el aire se perciba tibio, ya que es un clima seco durante 10 meses. Es difícil sentir confort higrotérmico que permita aprovechar las actividades de enseñanza aprendizaje. Por lo que se el estudio de los efectos de los jardines verticales sobre el microclima en edificios de concreto, el cual se realizó durante el lapso temporal entre los meses de enero y abril, se tomaron, datos durante 30 días alternos, la temperatura varió entre los 4 meses, debido a que la época más fría se registró en enero y febrero, y la más calurosa entre marzo y abril. Se tomaron los datos entre los horarios matutino (6:00 a 8:00 hrs), vespertino (12:00 a 14:00 hrs) y el horario nocturno (18:00 a 20:00 hrs), se tomaron los rangos de 2 horas para cada horario, variaban las actividades de los usuarios; los puntos de medición fueron los mismos durante este tiempo, el punto 1, se ubicó en el corredor del edificio; el punto 2 fue dentro del salón 2, el cual contaba con la cubierta del jardín vertical, y el punto 3, dentro del salón 1, que no poseía ningún tipo de cobertura, aparte del muro de concreto. Con la ayuda de un higrómetro se tomaron los datos para luego procesarlos en promedio, máximos y mínimos de temperatura, y humedad relativa y para evaluar el confort térmico utiliza encuestas.

En los 30 días que se estudió la temperatura del jardín vertical dio resultado que un jardín vertical en su fase inicial tuvo un promedio de reducción de la temperatura en un promedio de diferencia entre los puntos 1 y 2, en horario meridiano disminuyó 1.65 °C.

Un promedio de diferencia entre los puntos 1 y 2 en incremento en la humedad relativa de 1.78 % en horario matutino, evidenciando los resultados positivos con respecto a la reducción de la temperatura ambiente dentro del microclima.

Con respecto al Confort higrotérmico, según las encuestas que se realizaron a los estudiantes, los días 29 y 31 de marzo, arrojaron, que la percepción térmica aún no presentaba mejora perceptible para los usuarios.

Se logró disminuir la temperatura interior del edificio hasta un máximo de 2.3 °C, y se observó el incremento promedio de la humedad relativa de 4.4 %, se cree que el jardín vertical se encontraba muy joven y aún la proliferación de la vegetación escogida era poca, esto afectó el efecto de sombra, y la percepción higrotérmica de estudiantes y docentes.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La mayoría de los procesos de transmisión de energía térmica son procesos combinados, la conducción y la radiación siempre van acompañados por convecciones, el acondicionamiento térmico de los edificios se basa en la radiación y en la convección idealmente. (Atem, 2012)

Cuando el entorno absorbe las radiaciones de onda Corta (OC) y las radiaciones de onda larga (OL) su temperatura se eleva, esta energía calorífica puede permanecer en el objeto o puede ser radiada como nueva radiación de Onda Larga, transfiriéndose a otro objeto o disipada en la evaporación del agua.

El aire es un mal absorbente de relación de OC que se calienta y enfría al contacto de las superficies, debido a la emisión de radiaciones de OL, los contenidos del cambio calorífico del aire están determinado por el calor específico y la densidad dado por el cambio en la temperatura del aire. (R.S. Loomis, 2002).

Guastatoya El Progreso, que se encuentra dentro del denominado territorio Árido Espinoso, lo que forma parte del corredor seco nacional, la temperatura promedio de 27 °C a 34 °C y una humedad de suelo entre 1 a 10% (SEGEPLAN, 2015) hace que el aire se perciba tibio, ya que es un clima seco durante 10 meses, esto hace difícil la creación de condiciones óptimas en un sistema de refrigeración pasiva que pueda permitir el confort higrotérmico de los estudiantes del Centro Universitario de El Progreso de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde se han albergado 120 estudiantes en un salón de clases que es una tipología constructiva de concreto armado que tiende a

absorber el calor, por lo que luego de las horas de radiación solar a las que se expone la estructura crea ambientes de una sensación térmica incomoda.

Pregunta principal

Lo que lleva a preguntar:

¿Qué efectos tiene un jardín vertical sobre el microclima de edificios de concreto?

Preguntas auxiliares

1. ¿Puede influir un jardín vertical en la temperatura del microclima de edificios de concreto?

2. Un jardín vertical ¿Puede afectar la humedad relativa del microclima de edificios de concreto?

3. Al presentarse como aislante exterior ¿Un muro jardín puede mejorar la sensación térmica de calor de un docente y estudiantes dentro de edificios de concreto?

OBJETIVOS

General

Evaluar los efectos de los jardines verticales sobre el microclima de edificios de concreto.

Específicos

1. Evaluar la influencia de un jardín vertical sobre la temperatura del microclima de edificios de concreto.

2. Analizar la influencia de un jardín vertical sobre la humedad relativa del microclima de edificios de concreto.

3. Analizar los efectos del jardín vertical sobre la mejora de la sensación térmica de docentes y estudiantes dentro de edificios de concreto.

RESUMEN MARCO METODOLÓGICO

El presente estudio que evaluar los efectos que puede provocar un jardín vertical dentro del microclima de edificios concretos, de forma cualitativa y validada cuantitativamente, ya que en Guatemala se han vuelto muy populares en el campo de paisajismo o diseño de interiores, pero sin información científica que respalde los beneficios.

Exploración bibliográfica

Se analizaron artículos científicos de estudios acerca de este tema, se buscaron leyes de termodinámica, también se buscó bibliografía que enriqueciera el entendimiento de los fenómenos físicos, químicos y biológicos que podrían intervenir, además también los tipos de sistemas constructivos que se podrían aplicar y construir el que más se apegara a la realidad.

Definición y selección de la muestra

Con la muestra estudiada durante 30 días, en 3 puntos del edificio, en donde se comparan los datos entre el exterior, el interior de los salones, un salón donde se colocó el muro jardín, y otro sin protección alguna, más que con la cubierta de concreto, se utilizó un higrómetro para tener datos con precisión de la temperatura y la humedad relativa.

Recolección de datos y casos

Se realizó una recolección de datos durante el lapso de los meses de enero a abril durante los horarios matutinos, que consistía en el rango horario de 6:00 hrs a 8:00 hrs, el meridiano de 12:00 hrs a 14:00 hrs y el nocturno de 18:00 hrs a 20:00 hrs, tomando el rango de 2 horas, ya que las actividades variaban según las actividades académicas de los grupos de estudiantes de la carrera de Ingeniería Agronómica y Ciencias Jurídicas y Sociales se hicieron encuestas de percepción térmica, durante los días 29 y 31 de marzo a los grupos de estudiantes de ingeniería agronómica, en el horario meridiano, por ser el horario con mayor incidencia solar.

Análisis de datos

Con los datos obtenidos por medio de tablas dinámicas , por medio de la operación aritmética de diferencias, se obtuvieron los datos exactos en Promedio, máximos y mínimos, entre los puntos de mediciones 1, 2 y 3, siendo los datos del punto 2 los que más interesaban, para concluir que tanto incrementó la humedad relativa y cuando disminuyó la temperatura, para concluir si afectó positivamente el microclima de los salones, y por medio de gráfica se ilustra la percepción térmica que lanzó la encuesta que se le realizó a 35 estudiantes.

INTRODUCCIÓN

El confort térmico es una sensación neutra de la persona respecto a un ambiente térmico, según la Norma 7730 ”Es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico” (AENOR, octubre 2006).Que se inició a estudiar desde el año 1923, cuando empezaron a aparecer las técnicas de acondicionamiento de aire, y se necesitaba conocer índices de evaluación asi crear áreas confortables para los usuarios, lo que le dio paso a métodos como la “temperatura efectiva” desarrollada por Yaglou y colaboradores. (Vilella, 1983).

El confort climático es la confortabilidad, la cual puede ser definida como el conjunto de condiciones en las que los mecanismos de autorregulación son mínimos, así como la zona delimitada por unos umbrales térmicos en la que el mayor número de personas manifiestan sentirse bien. Las 6 variables que definen la interrelación entre la persona y el ambiente térmico son:

Descripción de variable	Dimensional
1. Temperatura del viento	(°C)
2. Temperatura radiante	(°C)
3. Humedad del aire	(% ,Pa)
4. Velocidad del viento	(m/s)
5. Actividad desarrollada	
6. Vestimenta	

Las 4 primeras las aporta el entorno y las 2 segundas las personas mismas. (Pedro R. Mondelo, Ergonomía: Confort y estrés térmico, mayo 2013) todo ambiente térmico que provoque tensiones en la persona que activen sus

mecanismos de defensa naturales para mantener la temperatura interna dentro de su intervalo normal, constituyendo una sobrecarga.

En las aulas de concreto dentro del Centro Universitario de El Progreso de la Universidad de San Carlos de Guatemala, que se ubica en el municipio de Guastatoya, en un día soleado puede llegar a tener una sensación térmica de hasta 38 °C (Temperatura registrada el 5 de abril de 2017, elaboración propia) es un clima cálido árido ubicado dentro del denominado corredor seco de Guatemala. Este estudio presenta los cambios en el microclima que proveen los jardines verticales dentro del confort higrotérmico de los estudiantes universitarios, así como las variables mismas del microclima interior, tales como la humedad relativa, temperatura del aire que es el bulbo seco constante.

En el capítulo 1, se observamos una bibliografía que muestra conceptos importantes acerca de los jardines verticales, así como ejemplos de estudios realizados en países como Japón o China, que concluyen los beneficios en los microclimas de este sistema de mitigación ambiental, como el aporte al control microclimatica y su aporte a la purificación del aire.

En el capítulo 2, se explica y se presenta todos los factores involucrados, en la construcción del jardín vertical, el proceso y el material involucrado que darían las variables que se tomaron y los datos que se recolectaron durante 30 días alternados en la franja de los meses de enero, febrero, marzo y abril, que usualmente coinciden con las épocas más frías y más calientes del territorio.

En el capítulo 3, apoyo en tablas y gráficos, que presentan las variables en promedio, máximos y mínimos, en donde se resumen los datos más importantes tomados por 30 días. Se muestra la variación de la temperatura y humedad relativa, en los horarios matutino, vespertino y nocturno.

En el capítulo 4, se describen los resultados que si fueron positivos o negativos, la diferencia entre los puntos de medición si fueron evidente, el

porcentaje mínimo en la humedad y los grados Celsius de diferencia entre un punto y otro, promediado y el máximo alcanzado se muestran en una tabla de dato.

1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

La eficiencia energética cada día necesita no solo por la economía, sino que también por la situación ambiental que está viviendo.

El cambio climático está marcando nuevos precedentes a los cuales deben surgir nuevas soluciones para crear confort en los usuarios de las propuestas arquitectónicas actuales y futuras, el uso de concreto armado como sistema constructivo es el más aceptado en la región, pero sus deficiencias de aislamiento térmico son más notables en climas cálidos secos.

1.1 Generalidades de los jardines verticales

El origen del concepto de jardín como lugar apacible, donde se disfrutaba de un microclima agradable, al mismo tiempo que servía como refugio, se encuentra probablemente en la mitología. Uno de los primeros jardines de los que se tiene referencia es el del Edén, el paraíso, tradicionalmente ubicado en Mesopotamia, donde Dios dispuso a Adán y a Eva. En Génesis I y II, se le describe como un parque plantado por Dios, donde se encontraban árboles de todas especies, árboles que daban cobijo y frescura, agradables para ver y buenos para comer; el árbol también era el punto central de donde se extraía el conocimiento del bien y el mal. (Torre, 1999)

El uso de la vegetación para controlar el microclima es tan antiguo como el hombre mismo, que aún nómada, aprendió a tomar de los árboles frutos, madera, hojas y disfrutar de su sombra. Ya agricultor, de los primeros huertos, que no eran todavía jardines, recolectaba sus alimentos, al mismo tiempo que creaba un ambienteombreado y fresco.

En la historia del jardín es una constante, la búsqueda de la sombra y el frescor. Según la tradición griega los jardines colgantes de Babilonia, de los cuales no se tiene ninguna ilustración, eran únicos, se dice que ocupaban una superficie aproximada de 1600 m², y ascendían formando una serie de terrazas ajardinadas, con un sofisticado.

A finales del siglo XIX, se inicia el fenómeno de la urbanización, que se agudizará con la primera etapa de la revolución industrial, impulsando el crecimiento brusco de las ciudades. El aumento de población y la creciente inhabitabilidad de los núcleos urbanos, despertará el sentimiento de necesidad de espacios verdes urbanos y su eficiencia para resolver o al menos atenuar el deterioro ambiental que se estaba dando en las ciudades, primero en Inglaterra y después en Alemania y Francia.

Es en términos de salud pública, higiene y saneamiento, que la urbanística de la primera mitad del siglo, se refiere a los espacios verdes urbanos, sin embargo, faltan claras referencias a su potencial como regulador climático. Será la crisis energética de los años ‘70 la que dará paso, sobre todo en Alemania y los Estados Unidos, a estudios e investigaciones más profundas, sobre la utilización de la vegetación como un instrumento para modificar microclima, los ambientes urbanos, y como consecuencia, un posible ahorro energético, aunado a la creación de espacios más confortables para el ser humano en todos los ámbitos. (Torre, 1999)

1.1. Tipos de jardines verticales

Existen múltiples tipos de jardines verticales, pero en este estudio se dividieron por función, entre jardines verticales exteriores y jardines verticales interiores.

En Guatemala se cuentan con ejemplos claros y llamativos de jardines verticales exteriores, que sirven como cubierta de fachadas como el de Vinoteca zona 10.

El cual se realizó de dos formas.

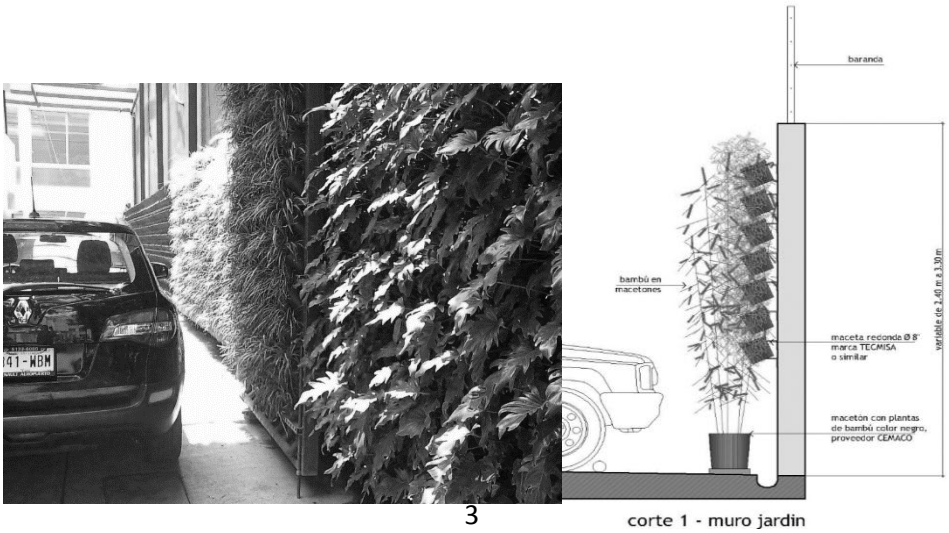
a) En yes de tubería de drenaje la cual se conecta a un tubo PVC

Figura 1. **Detalle de vegetación en Y de PVC**

Fuente: Solis Colomer + asociados

b) En macetas plásticas sujetadas a la estructura

Figura 2. **Detalle de jardín vertical en vinoteca zona 10**



Fuente: Solis Colomer + asociados

Y jardines interiores como el que se ubica en el rooftop de Oakland Mall, instalado por la firma Paisajismo Urbano, quienes cubrieron el muro con geotextil como forma de sustrato que sujeta a la vegetación que es irrigado por un sistema hidráulico por goteo.

Figura 3. **Detalle de jardín vertical en vinoteca zona 10**

Fuente: Paisajismo Urbano

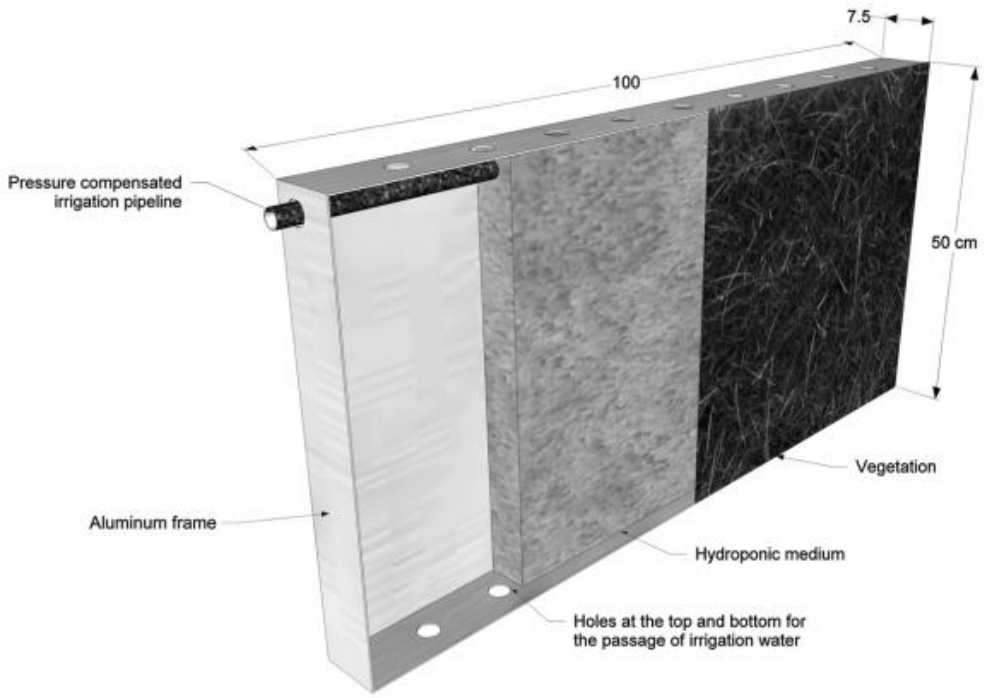
1.2. Los jardines verticales y la temperatura

La reducción de la temperatura ambiente y el aumento en la humedad del aire en presencia de vegetación, se debe al efecto de sombra proyectada sobre las diversas superficies, pero sobre todo, al fenómeno de la evapotranspiración, que es el efecto de enfriamiento evaporativo del agua que transpiran las plantas, otra pequeña contribución se debe a la humedad del suelo. Pero cuando se trata de un microclima aislado de los sistemas

atmosféricos predominantes, sobre el efecto refrescante de la vegetación en ambientes urbanos.

Los datos empíricos sobre el rendimiento térmico son escasos, a través de una escala metropolitana, en Tokio se sugieren que los jardines verticales o muros vegetales, representan una reducción de 5 °C a 8 °C en la superficie de la fachada. (Shibuya K, 2007) En el estudio presentado en el artículo Thermal Performance of Vegetated Clanding System of facade por el departamento de Biología de la Universidad de Hong Kong, muestra unos paneles prefabricado que sostienen los jardines verticales, dentro de las medidas de 100 X 50 X 75 cm^3 hechos de aluminio con losas prefabricadas tipo Grodan como medio hidropónico que permite una fácil instalación y mantenimiento, proporcionando así el debido ambiente para el crecimiento de las plantas que se aplicaron en la superficie, este estudio trajo variables interesantes, luego de haber medido la actuación térmica de un jardín vertical sobre la fachada de concreto.

Figura 4. **Módulo del utilizado en el estudio**



Fuente: Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls.

La diferencia de temperatura se contribuye al efecto de la sombra proporcionada por el panel y el aislamiento térmico de la masa vegetal, a su vez, al proceso eco fisiológico que puede evaluarse, según los aspectos de sanidad vegetal en proporción a la cantidad de la cobertura vegetal viva y la humedad relativa del sustrato.

En este mismo estudio se experimentó con el efecto de la vegetación y la transmisión calorífica hacia el muro de concreto.

Ya que la radiación solar sobre las fachadas de concreto transfiere una energía térmica elevada, más que todo en las horas de la tarde que podía llegar a exceder los 40 Wm^{-2}, lo cual fue más elevado en comparación al muro de concreto cubierto por un jardín vertical.

Aunque también se pudo observar que en días nublados, la temperatura se mantenía muy similar entre el muro de concreto cubierto por un jardín vertical y entre el muro que tenía el concreto expuesto. Durante los días 6 - 8 que se mostrarán como los días más calurosos del período experimental, la temperatura de las fachadas era más alta por la tarde antes del atardecer, debido a la alta radiación solar que alcanzó una temperatura de 44 °C cerca de 10 °C más alto que la temperatura ambiente, mientras que el muro cubierto por la vegetación solo presentaba una temperatura a 1.30 °C más alta que la temperatura ambiente.

Se concluye que, a través de los días del experimento, los ambiente interiores mantenían una temperatura de 25.7 °C con aire acondicionado y unos 26.1 °C solo con los paneles del jardín vertical, debido a la falta de luz solar recibida por el muro de concreto. (C.Y. Cheng, 2008).

La vegetación puede reducir dramáticamente la temperatura máxima de un edificio con solo crear sombra sobre los muros y así aislar el concreto de la

transmisión térmica solar, con la fluctuación diaria, la cual puede disminuir hasta un 50 % (Wong NH, 2010).

Una fachada cubierta por un jardín vertical es protegida por la intensa radiación solar en verano y solo refleja entre un 40 % a un 80 % de la radiación recibida, dependiente del tipo y la cantidad del follaje implementado en dichas fachada (ministry of Economy Baden-Württemberg in cooperation with environmental protection department of Stuttgart, 2008)

Las interacciones entre la radiación, la atmósfera, y la superficie de la tierra establecen la temperatura media de la Tierra; el calentamiento desigual a través de las latitudes resulta en una moción continua y en una mezcla de la atmósfera y de los océanos que da lugar al tiempo meteorológico y a los tipos de clima. El movimiento continuo de la atmósfera resulta en una progresión estacional del tiempo atmosférico diario. Este tiempo, si bien es muy variable, sigue un patrón general de circulación característico de cada lugar del globo. El clima, la “expresión acumulada del tiempo diario” (Trewartha, 1980) y se define por medias a largo plazo del tiempo.

Nuestro cuerpo posee ya sistemas que ayudan a adaptar a los factores externos y aunque son bastante eficientes, llegan a un punto donde necesita ayuda externa artificial para estar en armonía, a este mecanismo se le llama termorregulación interna, funcionando a través del sistema nervioso periférico aferente, que emite sus órdenes reguladoras. Además de otras funciones, el sistema cardiovascular desempeña un papel fundamental en la termorregulación, evacuando hacia la piel, por medio de la sudoración como agua secretada que se evapora en la superficie y produce un enfriamiento en caso de tensión calórica, y puede disiparse por medio de los capilares que están cerca de la superficie de la piel, que se encuentran bañados en sangre y pierden calor por radiación, de la misma manera el calor es retenido desviando los capilares superficiales, lo que produce un color pálido en el frío; los excesos

de calor que acumulan en los órganos y en los músculos para que éste pueda ser disipado hacia el ambiente. (Pedro R. Mondelo, Ergonomía: Confort y estrés térmico, mayo 2013) los seres humanos al ser anímales endotermos pueden ser expuestos sin mayor preocupación a temperaturas tan bajas como 12.8 °C o tan altas como 54.4 °C, ya que la temperatura de los tejidos profundos del cuerpo permanece casi constante, excepto cuando la persona desarrolla una enfermedad febril. Ya que el mismo organismo controla la temperatura por la producción de calor al balancear la producción de calor contra su pérdida; explicando de otra forma, cuando la relación de producción el calor aumenta en el cuerpo, su temperatura aumenta y a la inversa, cuando la pérdida de calor es mayor, ambos, el calor del cuerpo y su temperatura disminuyen. (M., 2012) ambiente agradable a los usuarios de los ambientes arquitectónicos, así evitar en general, los efectos negativos de estar expuestos a temperaturas muy altas donde fuerza al organismo a llegar a sus límites, tal como sucede en los factores negativos tales como, una hipovolemia que es el aumento de sangre en el sistema circulatorio, una taquicardia que es una salida cardíaca y eyección volumen que crea una disminución de la resistencia vascular periférica, en la piel se produce una reacción cianótica tornándose de un color azulado, una hipercrisis que afecta el sistema urinario, un aumento del 300 % al 400 % de la ventilación pulmonar por minuto, provoca una hiperventilación o alcalosis respiratoria, una hipersecreción gástrica, una hiperperistalsis en la extensión alimentaria el aumento del acetilcolina y nivel de ácido adenil (M., 2012). Es necesario el estudio de los factores que pueden intervenir o afectar los sistemas de termorregulación.

El sistema más conocido para la clasificación de los climas es el planteado por W. Köppen en 1931, en el cual hace especial énfasis en la temperatura estacional y por consecuencia en los tipos de vegetación existentes. Los patrones estacionales del balance precipitación,

evapotranspiración son los primeros elemento climáticos considerados. (R.S. Loomis, 2002)

Tabla I . **Clasificación climática de Köppen, modificada por Trewartha & Horn. 1980**

GRUPO CLIMÁTICO	TIPO DE CLIMA
B. SECO	*BS*, clima de estepa *BSh*, cálido, tropical y subtropical *BSk*, Frío, templado y boreal
A TROPICAL Y HÚMEDO	*Ar*, tropical y húmedo *Aw*, Tropical y húmedo/seco
C SUBTROPICAL	*Cs*, Subtropical con verano seco *Cf,* Subtropical con lluvia en todas las estaciones
D TEMPLADO	*Do*, oceánico, lluvia en todas las estaciones *Dc*, continental, nieve en invierno
E BOREAL	*E,* fresco, con lluvias limitadas
F POLAR	Ft, tundra con lluvias limitadas Fi, Icebegs

Fuente: Clasificación climática de Köppen, modificada por Trewartha & Horn. 1980, Elaboración propia

Analizando localmente los microclimas en lugares como Guastatoya, que en su mayoría posee clima seco, establece desequilibrios similares en los flujos radiantes que ocurren por encima de suelo, dentro de los cultivos y en el aire por encima de estos, la magnitud de este desequilibrio varía según la hora del día, debido a que una superficie de 1 sensor se expone horizontalmente a OC y OL incidentes, mientras que la otra superficie recibe los flujos ascendentes; la radiación de OC cambia drásticamente entre el día y la noche mientras los flujos de OL sólo cambian moderadamente. (R.S. Loomis, 2002)

1.3. Los jardines verticales y la humedad

En el proyecto llamado the thermal performance of doublé skin, las fachadas cubiertas con plantas, simulan el modelo de desarrollo que permite analizar la influencia de plantas hacia el desempeño de la doble cubierta de un edificio, que contribuye al confort climático y ahorro de energía en el interior de edificios de concreto. (Stec Luj, 2005) La diferencia de la temperatura entre el ambiente y el substrato fue asociada a la cobertura vegetal y la humedad del sustrato que sugiere la combinación aire- temperatura mejor por el efecto de enfriado por la humedad proporcionada por el substrato. La relación fue demostrada no solo por la cantidad de humedad relativa del ambiente sino también por el cuidado que se le dio al cuidado de la vegetación misma. (Stec Luj, 2005)

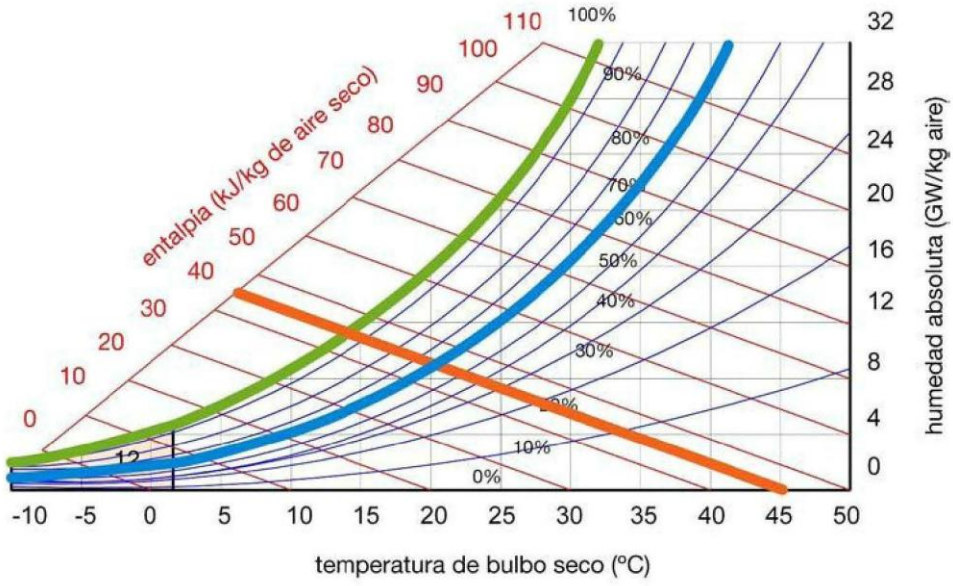
En la Universidad de Brighton, experimentaron con técnicas del desempeño de sombras, a través de plantas trepadoras (enredaderas) como un método pasivo y de baja energía. Este estudio mostró que la humedad de Hong Kong puede lograr beneficios sustanciales de una disminución en la temperatura máxima de 8.4 °C con sistemas de jardines verticales en valles urbanos. (Alexandri E, 2008) Esta diferencia significante es la distribución el aire ambiental en la influencia de un valle que incrementa la convección calorífica hacia un edificio y genera la descarga del enfriamiento ambiental. (M, 2001)

De otra forma se explica que dentro de un cultivo, los principales intercambios de calor latente involucran la evaporación de las aguas desde las hojas, (transpiración, lo que un ser humano hace al sudar) y desde el suelo y la condensación (formación del rocío) la evaporación conjunta (o condensación) del agua por ambos, hojas y suelo se denomina evapotranspiración, mientras una superficie se mantenga húmeda (suelo húmedo u hojas transpirando libremente) la evaporación domina el flujo de calor sensible. (R.S. Loomis, 2002)

En los climas que se caracterizan por ser calurosos y secos, la transpiración de las plantas tiene un efecto de refrigeración por evaporación; la energía necesaria para evaporar y transpirar agua hace que la temperatura se reduzca, a la vez de producir un aumento de la humedad relativa (Linden, 2008)

Este concepto se explica mejor con la ayuda de un diagrama psicométrico. El diagrama psicométrico consiste de un gráfico donde se ve trazado entre otras cosas: temperatura; la humedad relativa (HR); la cantidad de agua que contiene el aire y líneas de entalpía (REF). para ello, se tomó como ejemplo que el clima es caluroso (de 30˚C) y seco (de 30% HR). Si se evapora agua al aire, a través de plantas o una fuente, la energía necesaria para convertir el agua de un líquido al vapor tiene el efecto de disminuir la temperatura a la vez de incrementar la humedad relativa (Linden, 2008) Esto se ve en la ilustración de abajo, trazando desde el punto rojo hasta el punto azul.

Figura 5. Un diagrama psicométrico donde se ve trazado puntos genéricos del efecto de la evaporación de agua para reducir la temperatura, a la vez de incrementar la humedad relativa (Adaptado de Ogawa, 2009)

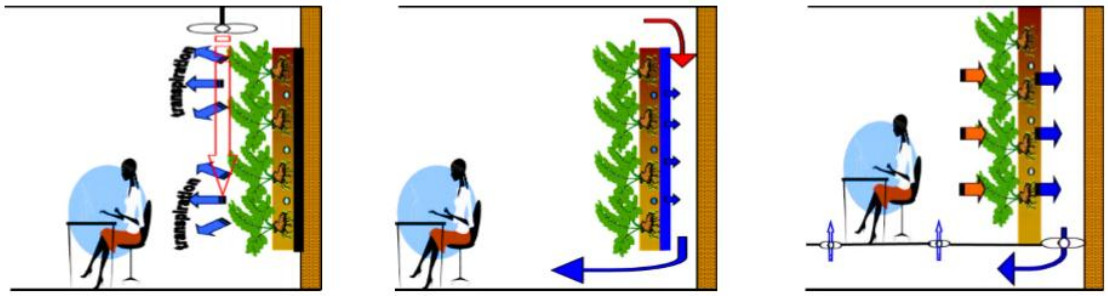


Fuente: (Marks & Rivera, 2013)

En teoría, hay tres maneras de climatizar a través de un jardín vertical.

1. Hacer correr el aire por un espacio delante de las plantas, donde a un incremento en la velocidad del aire, correspondería con un incremento de transpiración.
2. Hacer correr el aire entre el sustrato y la pared por detrás del jardín vertical, donde un incremento en la velocidad del aire correspondería con un incremento de evaporación.
3. Hacer atravesar el aire por el sustrato del jardín vertical, donde el jardín funcionaría de una manera semejante a una unidad de aire acondicionado por evaporación. (Marks & Rivera, 2013)

Figura 6. **Las tres maneras de climatizar a través de un jardín vertical**



Fuente: (Marks & Rivera, 2013)

1.3 Los jardines verticales y el confort

Estos estudios de aislamiento a través de cubiertas vegetales muestran el ahorro eficiente de energía, ya que la transferencia térmica por incidencia

solar es menor porque los muros de concreto, los cuales absorben el calor y lo liberan poco a poco, no son expuestos y así se mantiene una mejor temperatura en el interior de la edificación, dando como resultado el menor uso de aire acondicionado y otros sistemas de refrigeración artificiales. (Papadakis G, 2001)

Desde los tiempos en que los hombres se refugiaban en cavernas se puede evidenciar que una de las mayores necesidades es el refugio, ya que el clima condiciona nuestra vida y la adaptación al mismo podemos describir a continuación la interacción de los factores físicos externos que condicionan nuestro confort Higrotermico dentro de un edifico o fuera del mismo.

La termodinámica biológica explica que los seres vivos tienen la capacidad de movimiento y en el interior siempre se provocan transformaciones y procesos que permiten crecer y adaptarnos, consumiente de energía, al igual que cualquier máquina. (M., 2012)

El físico Alemán Rudolf Clausius apoyaba esta idea, y lo demostró en su conclusión más importante que dice que: cuando un sistema aislado bajo el punto de vista térmico, pasa de un estado a otro, la entropía no puede disminuir nunca; ya que, si las transformaciones se dan desordenamente o son reversibles, la entropía permanecería invariable. (M., 2012) en otras palabras citamos a la Segunda Ley de la termodinámica, donde dice que en cualquier sistema aislado, el grado de desorden solo puede aumentar.

A pesar de que el interior de los seres vivos, que nacen, crecen, se reproducen y mueren, se transforma constantemente, hablando de termodinámica, la célula está constantemente disipando calor a su entorno, por lo que presenta que dentro de las células existen moléculas en constante movimiento que hacen que esto no sea un sistema aislado.

Provoca orden biológico por la descarga de energía calorífica de las células. Por eso se puede escuchar siempre que el organismo humano, para

funcionar requiere una ingestión de 2000 calorías, pero esto no es solo por el calor, si no que el sistema necesita energía para moverse, a través de las mitocondrias las cuales reciben alrededor de 250 kilogramos de glucosa por año, de diferentes alimentos. (M., 2012)

Continuando en la explicación del funcionamiento biológico que necesita energía para hacer todo lo cotidiano, se conoce la importancia de la Homeóstasis que es el proceso que mantiene un ambiente constante y apropiado, que las células vivas mantengan una buena temperatura, la concentración salina, el pH y el nivel de azúcar en la sangre, debe mantener una temperatura corpórea de 37.2 °C para operar y mantener su vigor y así mantener sincronizados los procesos internos. Ya que es necesario la estabilidad sistemática para la eficiencia de las reacciones enzimáticas en las células y así proveer fluidos para los tejidos de varios órganos, como los riñones que regulan el pH, la urea y la concentración acuosa, también que la pureza del aire es tan necesaria para el buen funcionamiento biológico, por lo que también se plantea que un jardín vertical puede mejorar este aspecto, tan necesario para el funcionamiento natural de nuestros cuerpos, ya que los pulmones regulan el oxígeno y el dióxido de carbono que luego será transportado por la sangre, la temperatura es regulada por hígado; a través de la piel, y el nivel de glucosa en la sangre es regulado por el hígado y el páncreas. (M., 2012)

Siendo los seres humanos animales de sangre caliente o Endotermos en donde se posee una temperatura constante en el cuerpo, independiente del ambiente, ya que posee al regulador interno que es el Hipotálamo ubicado en el cerebro.

Esto expone que para tener un confort bilógico se necesita exponer a un ambiente agradable a los usuarios de los ambientes arquitectónicos y así evitar en general , los efectos negativos de estar expuestos a temperaturas muy altas,

donde fuerza al organismo a llegar a sus límites, tal como sucede en los factores negativos tales como; una hipovolemia que es el aumento de sangre en el sistema circulatorio, una taquicardia que es una salida cardíaca y eyección volumen que crea una disminución de la resistencia vascular periférica, en la piel se produce una reacción cianótica tornándose de un color azulado, una hipercrisis que afecta el sistema urinario, un aumento del 300 % al 400 % de la ventilación pulmonar por minuto provocando una hiperventilación o alcalosis respiratoria, una hipersecreción gástrica, una hiperperistalsis en la extensión alimentaria el aumento del acetilcolina y nivel de ácido adenil (M., 2012).

La propuesta de jardines verticales como sistema pasivo de refrigeración busca un confort higrotérmico dentro de las aulas del CunProgreso, ya que aplica la eficiencia energética y de consumo de agua que se logra gracias a que estos sistemas que funcionan como reguladores climáticos y tienen potencial de regulación de los sistemas de aguas lluvias, aprovechándola para su alimentación y generando ciclos de recirculación que evitan el desperdicio. A su vez, la adaptación que se logra apropiando espacios y gracias a la capacidad de la naturaleza reduce impactos porque los sistemas de jardines verticales y similares son filtros naturales de aire, mejorando su calidad donde se instalan y recuperan la calidad visual del entorno. (Marian Buraglia).

El arquitecto especialista en construcciones verdes, y coautor del libro Cradle to cradle, William McDonough propone construir no sólo estructuras que no contaminen el medio ambiente, sino que contribuyan positivamente a los ecosistemas, que inclusive ayuden a sanar paisajes alterados. Según él, se entiende como construcciones verdes / sostenibles la práctica de incrementar la eficiencia en la cual las construcciones y sus sitios usan energía, agua y materiales en reducir los impactos de las construcciones con la salud humana y en el medio ambiente, a través de estar mejor situados, diseño, construcción,

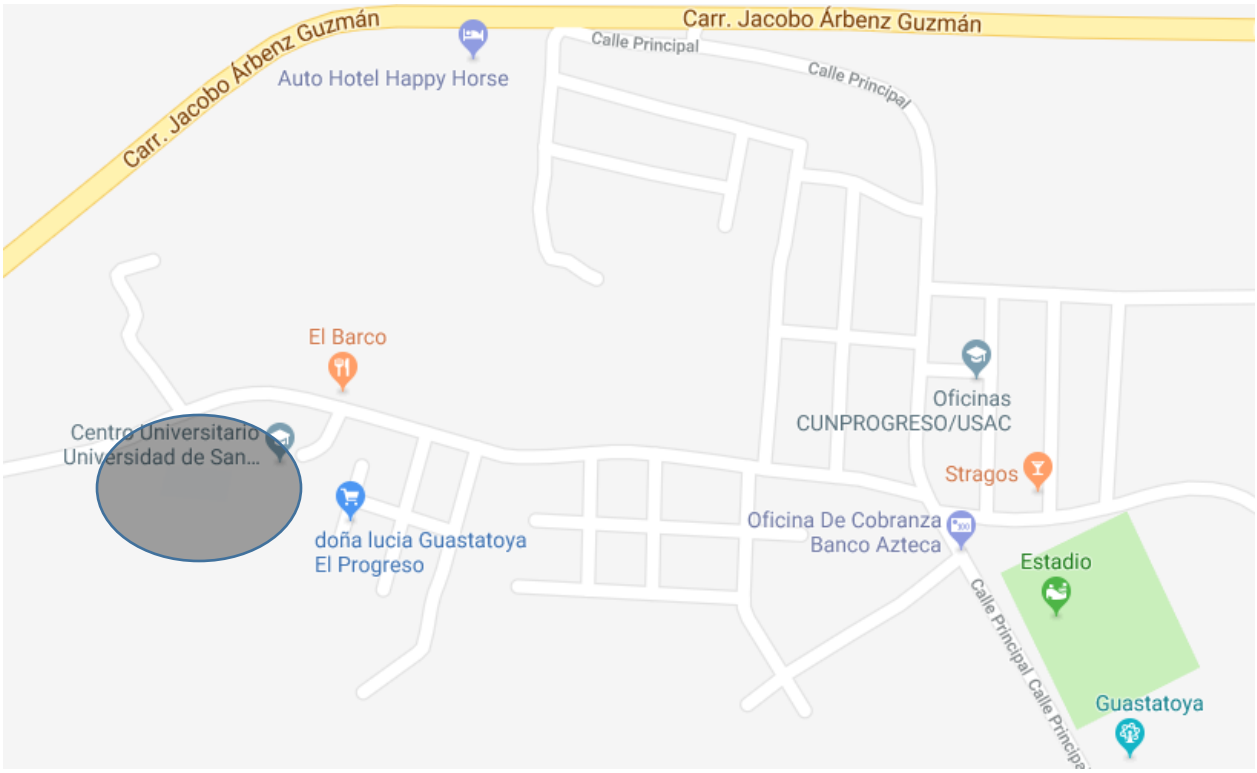
operación, mantenimiento y eliminación de desechos, el ciclo de vida de las construcciones completes. (McDonough, 2011) .

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Descripción del lugar

El experimento se ubicó en el terreno propiedad del Centro Universitario de El Progreso CUNPROGRESO, en Guastatoya la cabecera municipal del departamento de El Progreso. que corresponde a la finca registrada con el No.4333; Folio No.333, Libro 9E de El Progreso, ubicado al lado izquierdo de la calle que conduce de la ciudad de Guastatoya a la aldea Casas Viejas y un sector del Barrio El Porvenir en el municipio de Guastatoya, El Progreso, donde aparece el terreno con una extensión de 36,239.208 $m^{2.,}$ y solamente ha sido utilizado un 12 % aproximadamente con la construcción del ala izquierda del módulo B y la cimentación del ala derecha, garita de control, acceso peatonal, acceso vehicular y las instalaciones del pozo de agua y planta de tratamiento, así como un Rancho provisional que hace de salón de usos múltiples, que estudiantes de administración construyeron con ayuda del personal de mantenimiento y por donación de la empresa Cementos Progreso se pavimentó el área continua a la ubicación del rancho.

Figura 7. **Mapa de ubicación de Guastatoya, El Progreso**



Fuente: mapa de Google, 19 noviembre de 2017

El terreno se localiza a la distancia de 1,500 metros del centro de la ciudad de Guastatoya. Su geología está conformada por rocas ultra básicas de edad desconocida, predominantemente serpentinitas. Posee suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas a poca profundidad. Consta de un sector sur-este aplanado con maquinaria y otro sector nor-oeste corresponde a una quebrada, con escorrentía nor-este a sur-oeste. Se encuentra a unos cincuenta metros de altura sobre la ciudad, que lo hace disponer de brisa agradable.

Figura 8. **Plano de ubicación del Centro Universitario de El Progreso, Universidad de San Carlos de Guatemala.**

Fuente: elaboración propia.

Durante el día se tiene un 80% de insolación, lo que produce una sensación térmica bastante alta, en los salones el reflejo solar es alto, por lo que deben cerrar las puertas, pero esto también provoca que adentro el intercambio de calor por convección de cada estudiante, y la poca circulación del viento, hacen un ambiente cargado de calor. Por lo que se tomó como zona experimental en su fachada sur, ya que de los 6 salones construidos hasta la fecha, no cuentan con ningún otro edificio que pueda representar obstaculización de las horas de incidencia solar, a pesar de que la fachada norte presenta mejores condiciones de humedad, lo que se busca es una solución de refrigeración pasiva, que conforme se vayan realizando construcciones nuevas, edificios y aulas, puedo aplicar la mejor opción de menor mantenimiento y que sea natural.

2.2. Prototipo de jardín vertical con neumáticos

2.2.1. Materiales

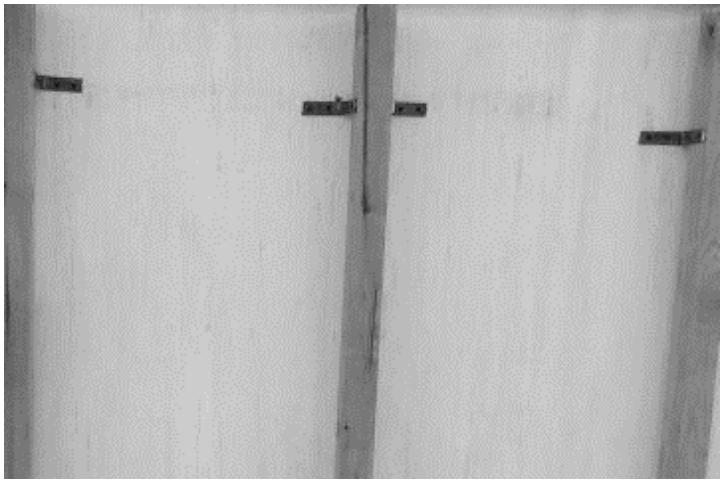
ESTRUCTURA DE PINO TRATADO

No cabe duda que la madera es un producto estético elegido como base en muchos ámbitos por sus propiedades naturales. Siendo un producto fácilmente transformable y procesable ofreciendo propiedades mecánicas envidiables, sólo sufre de no garantizar durabilidad suficiente en ciertas condiciones exteriores. No obstante, previamente tratada la madera se convierte en una solución duradera adecuada. Entre todas las especies, la madera de pino es la que proporciona la mejor aceptación de los tratamientos necesarios para durar.

- La madera de pino se impregna fácilmente.
- La madera de pino es un recurso abundante.
- La madera de pino ofrece buenos niveles de resistencia mecánica
- La madera de pino es fácilmente transformable y procesable (Madex, s.f.)

Para anclarla se utilizaron escuadras de metal con tornillos de 1” y los neumáticos se ajustaron por medio de trozos de madera y dos tornillos.

Figura 9. **Anclaje de parales de madera a muro**



Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Anclaje de neumáticos a parales de pino**

Fuente: elaboración propia.

NEUMÁTICOS

Un neumático (del griego πνευματικός, «relativo al pulmón», por el aire que lleva), también denominado cubierta, llanta, caucho o goma en algunas regiones, es una pieza toroidal de caucho que se coloca en

las ruedas de diversos vehículos y máquinas. (Real Academia Española y Asociación de Academias de la Lengua Española , 2014).

Excepto los trenes o el transporte marítimo no utilizan neumáticos, pero los millones de vehículos, desde las bicicletas hasta los camiones de volteo utilizan neumáticos y la fabricación masiva para cumplir con la demanda de estos, es muy elevada que traen como consecuencia una complicada gestión de residuos, después de ser utilizados tienen pocas opciones para su reciclaje, debido a los compuestos químicos a base de petróleo crudo y los cauchos utilizados en la fabricación de los neumáticos que son una mezcla de caucho natural y cauchos sintéticos, principalmente los polímeros denominados SBR (stirene buradiene ruber) y el BR (butadiene ruber) por lo que constituye uno de los problemas medioambientales más graves de los últimos años en todo el mundo; En España, se dejan fuera de uso más de diez millones de neumáticos al año. Cada año se generan en el mundo cerca de 1.000 millones de neumáticos fuera de uso de su vida útil, alrededor de 17 millones de toneladas. Más de 3,4 millones de toneladas de estos neumáticos se generan en Europa, y unas 314.000 t. en España. De estas toneladas, se destinan; el 50 % (153.000 toneladas) se recicla, un 8 % se reutiliza directamente (si la cubierta lo permite), y un 12 % se recauchuta. El resto, un 30 %, se transforma en combustible alternativo para uso en cementeras. El mercado español es el quinto país de la Unión Europea que más NFU produce anualmente, tan sólo por detrás de Alemania (568.000 toneladas), Reino Unido (508.000), Italia (421.000) y Francia (369.000).-(López, 2012)

Por su composición física y química que cuenta, es un buen aislante térmico resiste temperaturas de hasta 50 ºC donde adquiere una textura de plástico pegajoso, resistente a las abrasiones, desgarro, ácidos, álcalis y disolventes Orgánicos, (Barcelona, s.f.) representaron

una opción adecuada para el sistema de macetas que coloca en el jardín Vertical, agregando que se podría convertir en un prototipo replicable de bajo costo, ya que el precio de los neumáticos desechazados por un Pinchazo, son alrededor de Q. 2.00 la unidad, y encontramos en tamaños Rin 17, 15, 14, y 30, Se decidieron utilizar solamente los rines 15 y 17 por su adaptabilidad del espacio, y aportaban la conservación de agua drenada simplemente por agujeros de 10 mm, para que por goteo humedeciera el sustrato debajo.

Figura 11. **Neumáticos utilizados como macetas**

Fuente: Renato Aldana, CUNPROGRESO.

SUSTRATO

El sustrato es un estrato que subyace a otro y sobre el cual está en condiciones de ejercer algún tipo de influencia. La noción de estrato, por otra parte, hace referencia a una capa o nivel de algo o al conjunto de elementos que se integra con otros previos para la formación de una entidad.

Para la ecología, el sustrato es la parte del biotopo (área de condiciones ambientales uniformes) donde ciertos seres vivos

desarrollan sus funciones vitales y se relacionan entre sí. En la Biología, el concepto de sustrato está vinculado a la superficie en la que vive un animal o una planta, que está formada, tanto por factores bióticos como abióticos, el sustrato también puede ser una especie química que se considera como objeto de la acción de uno o más reactivos; por ejemplo, un compuesto transformado por la acción de un catalizador. (Julián Pérez Porto, 2010)

Debido a que en un jardín vertical se busca utilizar el espacio no convencional para la crianza de vegetación, necesitamos proporcionar a los distintos tipos de planta, una fuente de nutrientes que en el suelo la proporciona la materia orgánica. La función de la materia orgánica en el crecimiento de flora es debido a que es utilizado como almacenaje de nutrientes y agua, ya que provoca que las partículas del suelo se agrupen para formar agregados del suelo y sustancias pegajosas producidas por la unión de organismos del suelo con agrupaciones del suelo.

Ya que una cubierta vegetal como el Serrín absorbe agua más rápido que un suelo desnudo, limita la evaporación, reduce el rango de temperatura del suelo y representa una fuente buena de abono para producir el humos, (Copias de Suelos) este con una mezcla de Lombricompost y broza se utilizaron como base y sustrato dentro de los neumáticos, para sembrar las plantas en el jardín vertical con el que se experimentó.

VEGETACIÓN

Guastatoya se encuentra dentro de denominado corredor seco Guatemalteco, y se encuentra catalogado como bosque espinoso seco, por lo que la flora oriunda de este territorio, es una vegetación espinosa que sobrevive con poca agua.

Para el jardín vertical se decidió utilizar un tipo de vegetación resistente a las altas temperaturas e insolación constante, para que fuera de bajo mantenimiento, ya que las enredaderas observadas en las cercanías del centro Universitario de El Progreso como la denominada falsa uva, requiere de mantenimiento medio, por la aparición de hongos, que crean en el interior de sus ramas, una baba blanquizca que atrae a insectos como ronrones y zancudos, a su vez, este hongo provoca que la planta pierda sus hojas, al tornarlas de un color corinto, lo que provoca una mala fotosíntesis y muerte de partes de la misma.

Al contrario de lo que se observó en jardines verticales en la Ciudad de Guatemala, se decidió colocar plantas, que han presentado una adecuada adaptación dentro de los jardines del Centro Universitario de El Progreso, como las que se describen en las fichas técnicas en la siguiente tabla:

Tabla II. **Ficha técnica de vegetación**

Nombre común	Cachitos o Singonio	Nombre común	Corazón	Nombre común	Diez del día				
Familia	Araceae	Familia	Araceae	Familia	Caryophyllales				
Nombre Científico	Syngonium podophyllum	Nombre Científico	Alocasia cucullata	Nombre Científico	Portulaca Pilosa				
Clima	Cosmopita	Clima	Cálido-templado	Clima	Cálido				
Riego	Bajo	Riego	Bajo	Riego	Moderado				
Ubicación	Media Sombra	Ubicación	sol	Ubicación	Sol y media sombra				
Observaciones	Puede ser trepadora	Observaciones	Crece hasta 1.00 mts	Observaciones	Colores fuscia, rosa y blanco				
Nombre común	Colas de Quetzal	Nombre común	Telefono	Nombre común	Malas Madres				
Familia	Oleandraceae	Familia	Araceae	Familia	Liliaceae				
Nombre Científico	Nephrolepis ssp.	Nombre Científico	Epipremnum pinnatum	Nombre Científico	Cholorophytum comosum				
Clima	Cosmopita	Clima	Cálido-Templado	Clima	Cosmopita				
Riego	Bajo	Riego	Bajo	Riego	moderado				
Ubicación	Media Sombra	Ubicación	Media Sombra	Ubicación	Sol y Media Sombra				
Observaciones	Proliferación por hijos y esporas	Observaciones	Puede ser trepadora	Observaciones	Proliferación por estolón e hijos				

Fuente: elaboración propia, Fotografía Sergio Aldana CUNPROGRESO, información (Benitez, 2009)

2.4 Variables y muestreo

2.4.1 Variables

Para fines para del proyecto; las Variables en el estudio serán:

Tabla III. **Variables de medición**

OBJETIVO DE INVESTIGACIÓN	VARIABLE	DIMENSIONAL	APARATO O MÉTODO DE MEDICIÓN
OBJETIVO 1	*TEMPERATURA*	°C	Termohigrometro Fluke
OBJETIVO 2	HUMEDAD	%	Termohigrometro Fluke
OBJETIVO 3	CONFORT	%	Encuesta subjetiva

Fuente: Elaboración Propia

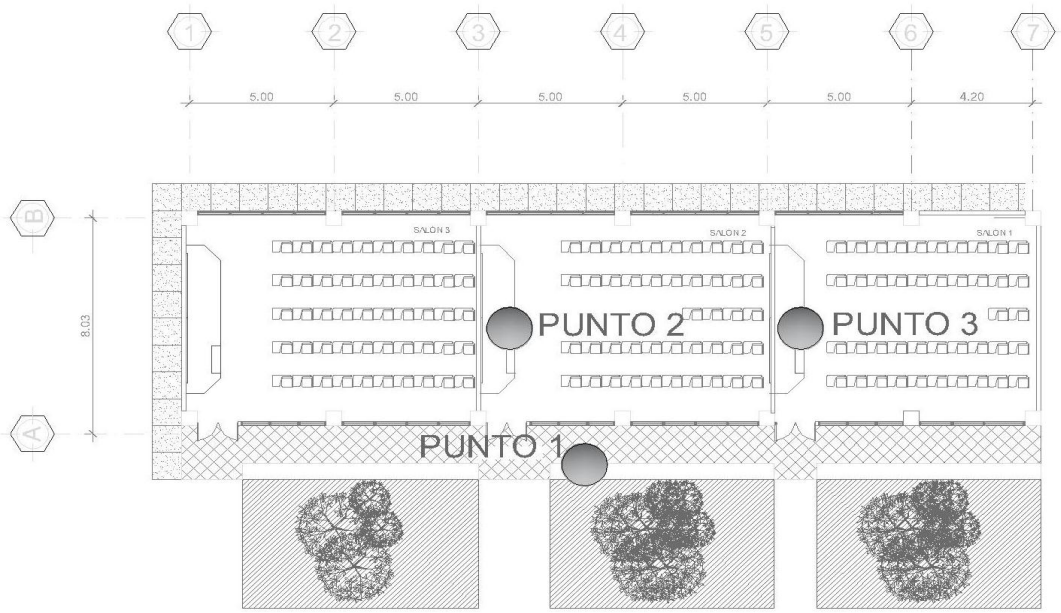
Figura 12 Termohigrometro Fluke

Fuente: Elaboración Propia

2.4.2. Muestreo

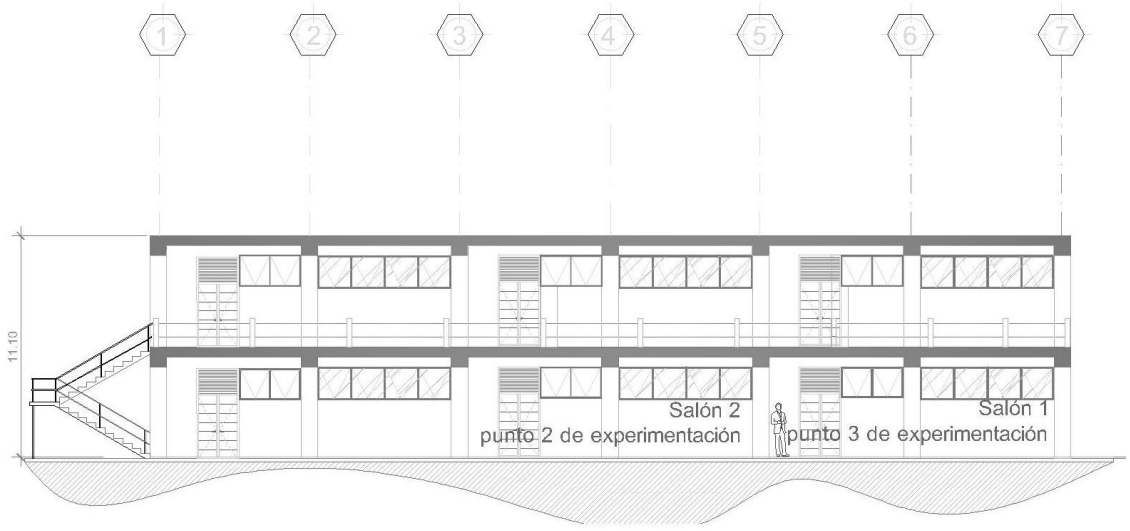
Se tomaron 2 salones y el corredor como puntos de medición, para hacer una evaluación comparativa, los datos se recolectaron durante los meses de enero a abril para abarcar los meses con sensaciones térmicas variadas, ya que los meses de enero y febrero suelen ser los meses fríos y los meses marzo y abril los calurosos.

Figura 13. **Planta de ubicación de puntos de medición**



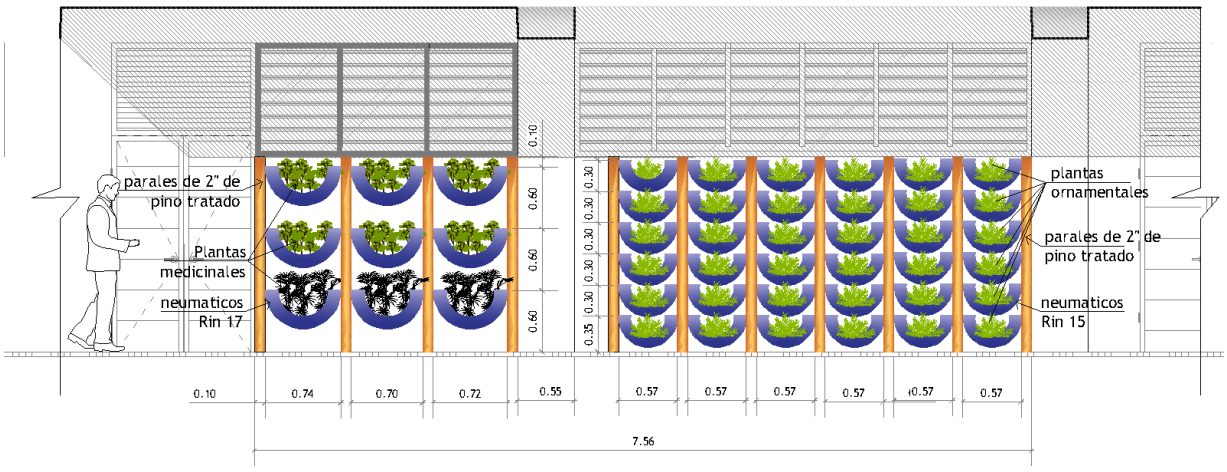
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Elevación de ubicación de puntos de medición**



Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Elevación detalle jardín vertical de salón 2, punto 2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Detalle jardín vertical de salón 2, punto 2**

Fuente: elaboración propia.

Los horarios en los que se tomaron los datos se dividieron en 3, para cubrir las variables naturales de insolación, usualmente la temperatura y humedad varían por la mañana, siendo el horario más crítico el horario meridiano, aunque por toda la tarde se haya recibido insolación en las fachadas, en el horario vespertino tiende a tener mayor velocidad el viento, por lo que se refresca más rápido el ambiente, así también es una condicionante el uso de los salones por estudiantes y docentes, ya que las jornadas de ingeniería agronómica de 7:00 hrs a 16:00 hrs, y la jornada de ciencias jurídicas y sociales es de 17:00 hrs a 20:00 hrs.

Tabla IV. **División de horarios para tomar datos**

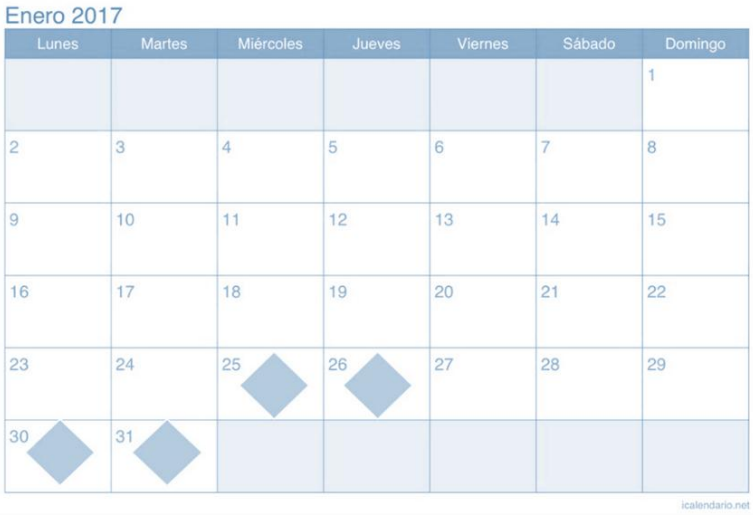
Horario
Matutino Entre 6:00 – 8:00 hrs
Horario
Meridiano Entre 12:00 – 14:00 hrs
Horario
Vespertino Entre 18:00 – 20:00 hrs

Fuente: elaboración propia.

En un período de 4 meses se tomaron 30 datos en las fechas correspondientes fueron las siguientes:

Fechas de medición

Figura 17. **Días del mes de enero en que se tomaron datos**

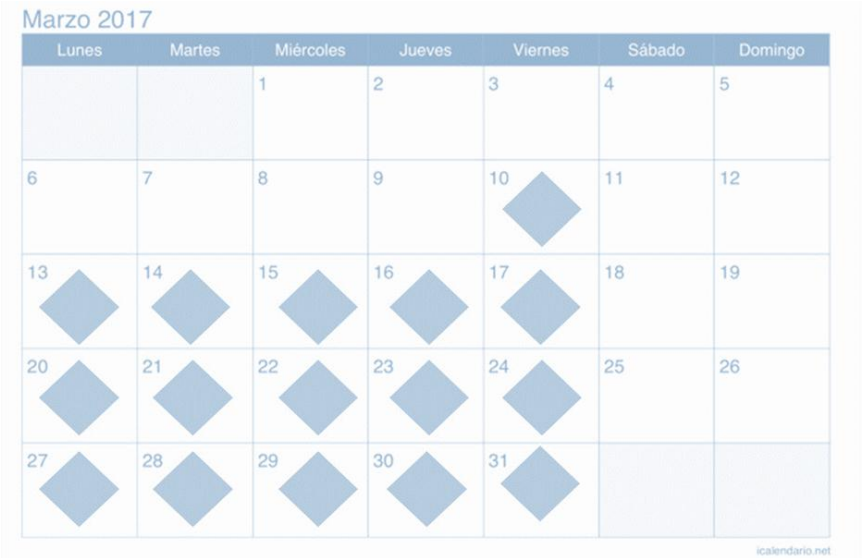


Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Días del mes de febrero en que se tomaron datos**

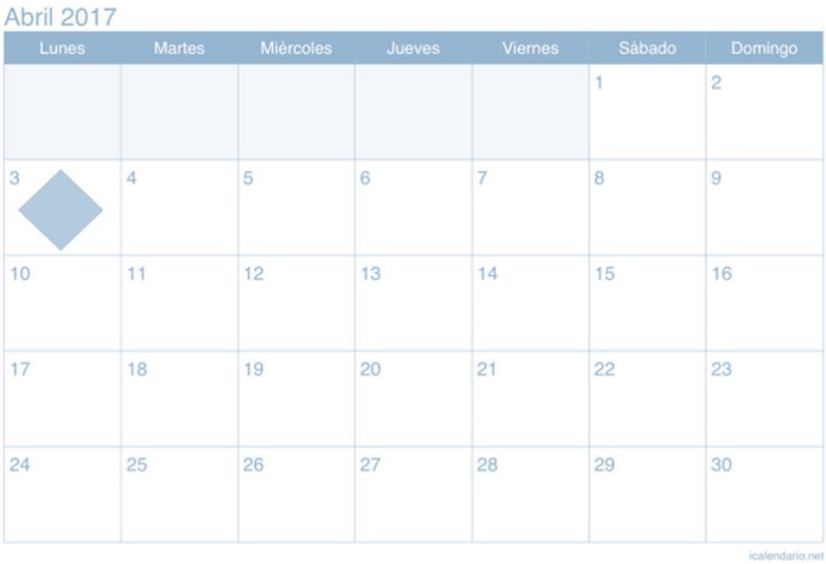
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Días del mes de marzo en que se tomaron datos**



Fuente: elaboración propia.

Figura 20, **Días del mes de abril en que se tomaron datos**



Fuente: elaboración propia.

2.4.3. Técnicas

La información de los estudios previos será catalogada de acuerdo a los puntos en común para establecer los datos de promedios y medias, en los aspectos de temperatura, humedad y en una encuesta subjetiva para medir los puntos de percepción térmica.

2.5. Tablas de máximos y mínimos

Con la información de los máximos y mínimos de temperatura y humedad, se puede comparar y tener datos exactos en promedio, para catalogar de positivos o negativos los efectos del Jardín vertical dentro del punto 2, comparados con los puntos 1 y 3.

2.5.1. Encuestas de la percepción térmica con y sin Jardín vertical entre estudiantes

Se prepararon encuestas donde se pudo corroborar varios aspectos, entre ellos la percepción térmica de los estudiantes que realizan sus actividades cotidianas en el salón 2 y salón 1, se tomó en cuenta la percepción exterior comparándola con la percepción interior de ambos salones, para determinar si hubo algún cambio en la percepción térmica.

También se midieron los gustos de los estudiantes por la apariencia del jardín vertical y se les dio la opción de describir, que harían para mejorar el experimento.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.4. Medición de temperatura

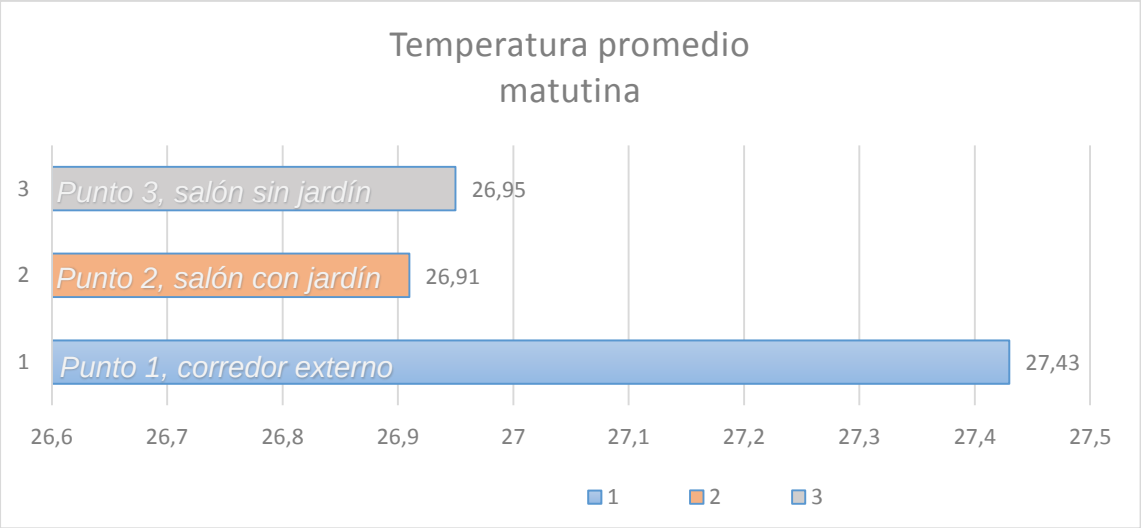
En la tabla V se presenta el promedio de las lecturas de temperatura que se tomaron en los meses de enero a abril, durante 30 días intercalados, tomando los datos en los horarios antes mencionados, con un intervalo de 2 horas cada uno, ya que la toma de datos estaba condicionada por las actividades académicas en cada salón.

Tabla V. **Datos de temperatura documentados de un período de 30 días**

TEMPERATURA (BULBO SECO) °C TOMADA EN 30 DÍAS				
HORARIO MATUTINO Entre 6:00 – 8:00 hrs	°C	**Punto 1** (corredor)	**Punto 2** (salón con jardín)	**Punto 3** (salón sin jardín vertical)
	Promedio	27.43	26.91	26.95
HORARIO MERIDIANO Entre 12:00 – 14:00 hrs	°C	**Punto 1** (corredor)	**Punto 2** (salón con jardín)	**Punto 3** (salón sin jardín vertical)
	Promedio	31.9	30.25	30.49
HORARIO NOCTURNO Entre 18:00 – 20:00 hrs	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
	Promedio	28.06	26.75	27.79

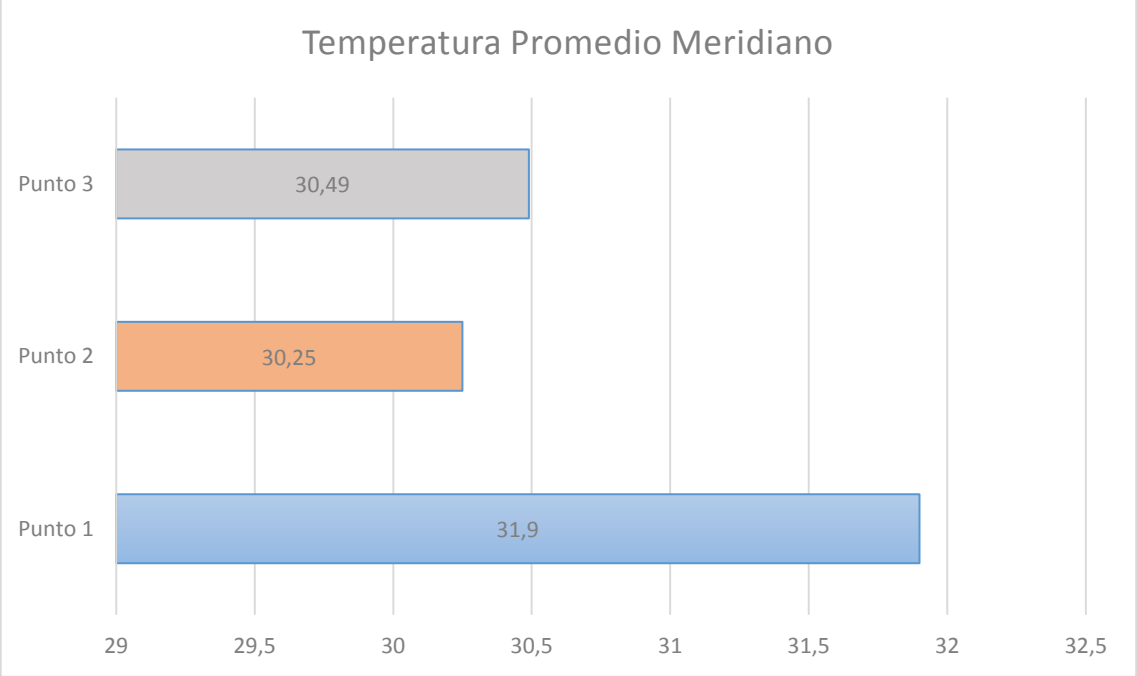
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Temperatura promedio matutino**



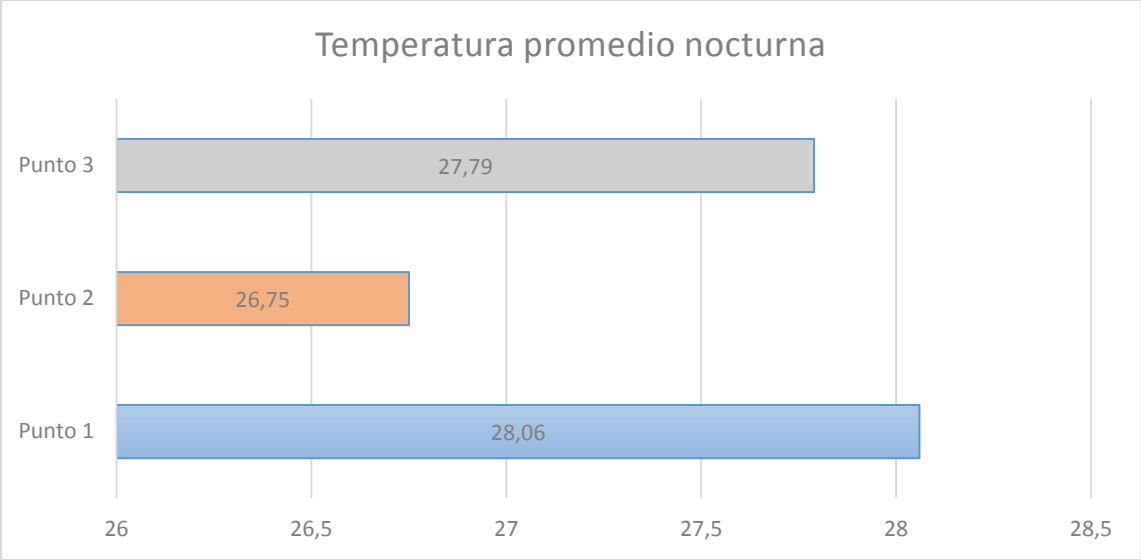
Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Temperatura promedio meridiano**



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Temperatura promedio nocturno**



Fuente: elaboración propia.

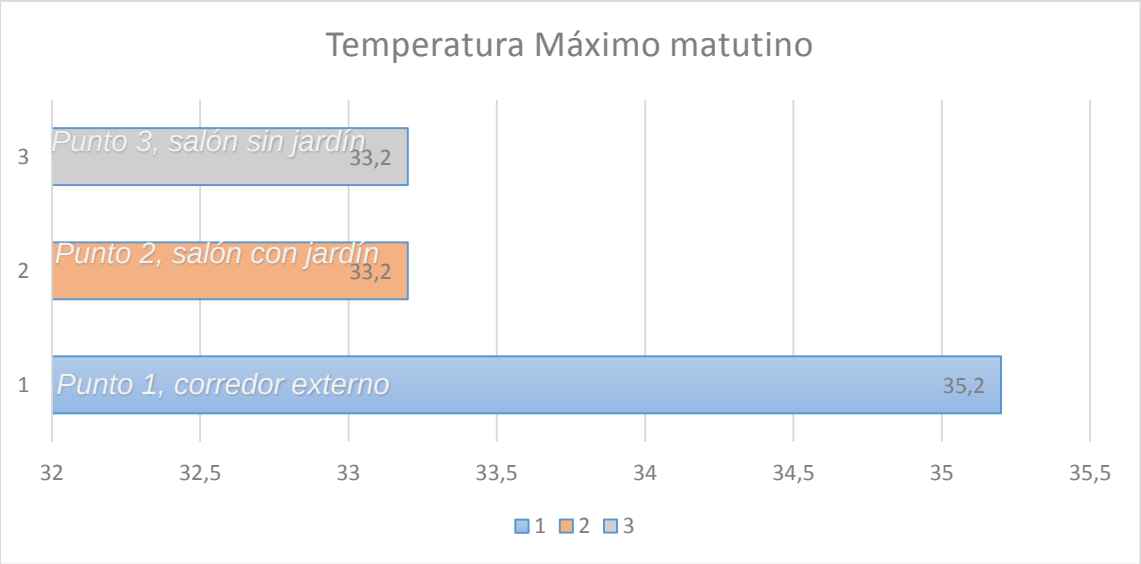
A continuación se presentan los valores de máximos documentados en la toma de dato dentro del período temporal antes mencionado.

Tabla VI. **Datos de temperatura máximo documentados de un periodo de 30 días**

TEMPERATURA (BULBO SECO) °C TOMADA EN 30 DÍAS				
HORARIO MATUTINO Entre 6:00 – 8:00 hrs	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
	Max	35.2	33.2	33.2
HORARIO MERIDIANO Entre 12:00 – 14:00 hrs	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
	Max	38	35.7	35.9
HORARIO NOCTURNO Entre 18:00 – 20:00 hrs	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
	Max	33.3	32.9	33.1

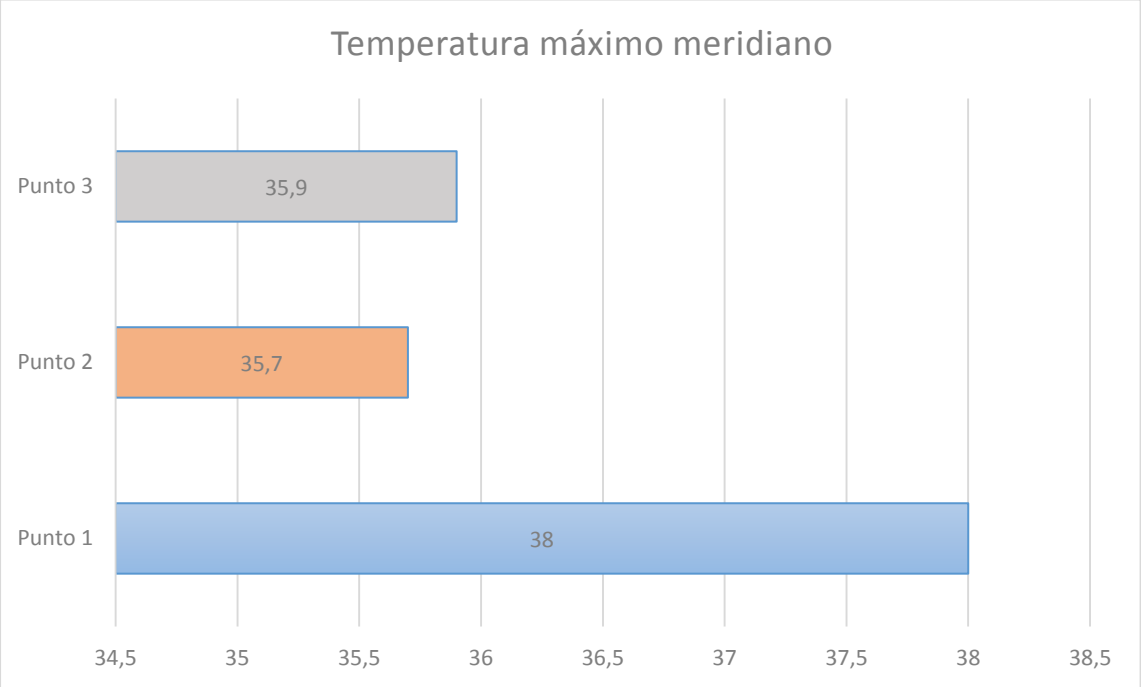
Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Temperatura máximo matutino**



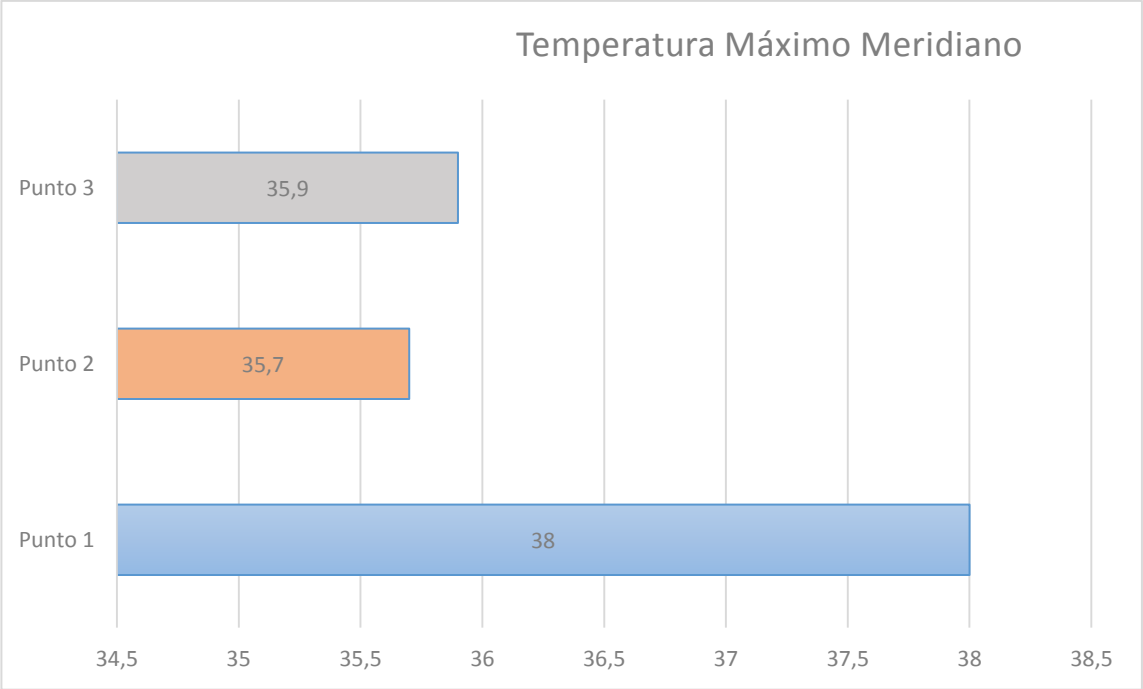
Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Temperatura máximo meridiano**



Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Temperatura máximo nocturno**



Fuente: elaboración propia.

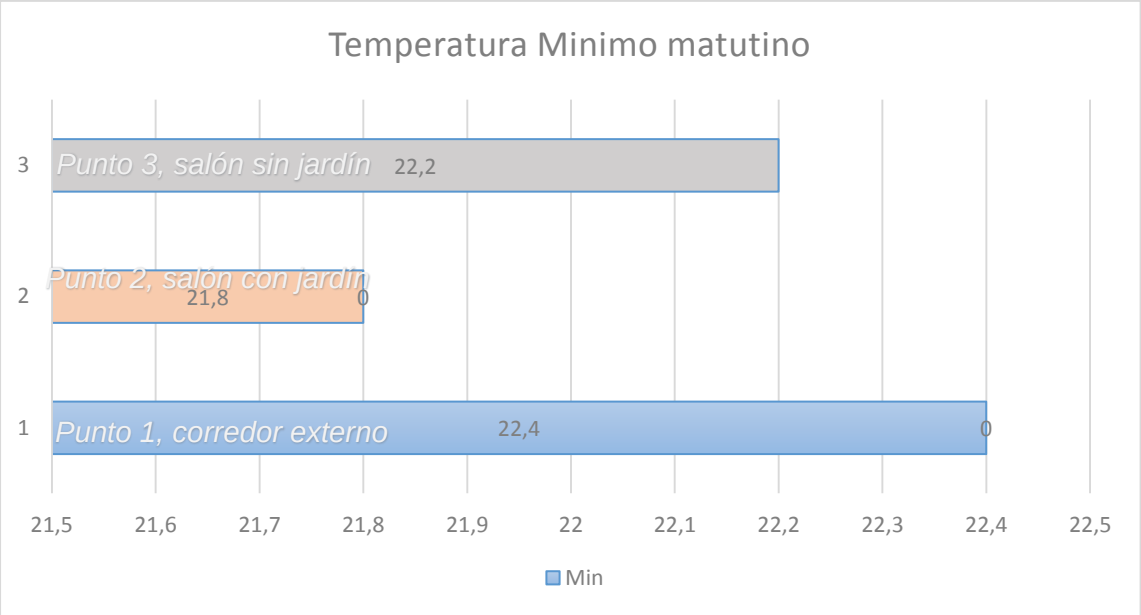
A continuación se presentan los valores de mínimos documentados en la toma de dato dentro del período temporal antes mencionado.

Tabla VII. **Datos de temperatura mínimo documentados de un período de 30 días**

TEMPERATURA (BULBO SECO) °C TOMADA EN 30 DÍAS				
HORARIO MATUTINO Entre 6:00 – 8:00 hrs	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
	Min	22.4	21.8	22.2
HORARIO MERIDIANO Entre 12:00 – 14:00 hrs	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
	Min	23	22.1	22.3
HORARIO NOCTURNO Entre 18:00 – 20:00 hrs	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
	Min	24.4	21.5	21.9

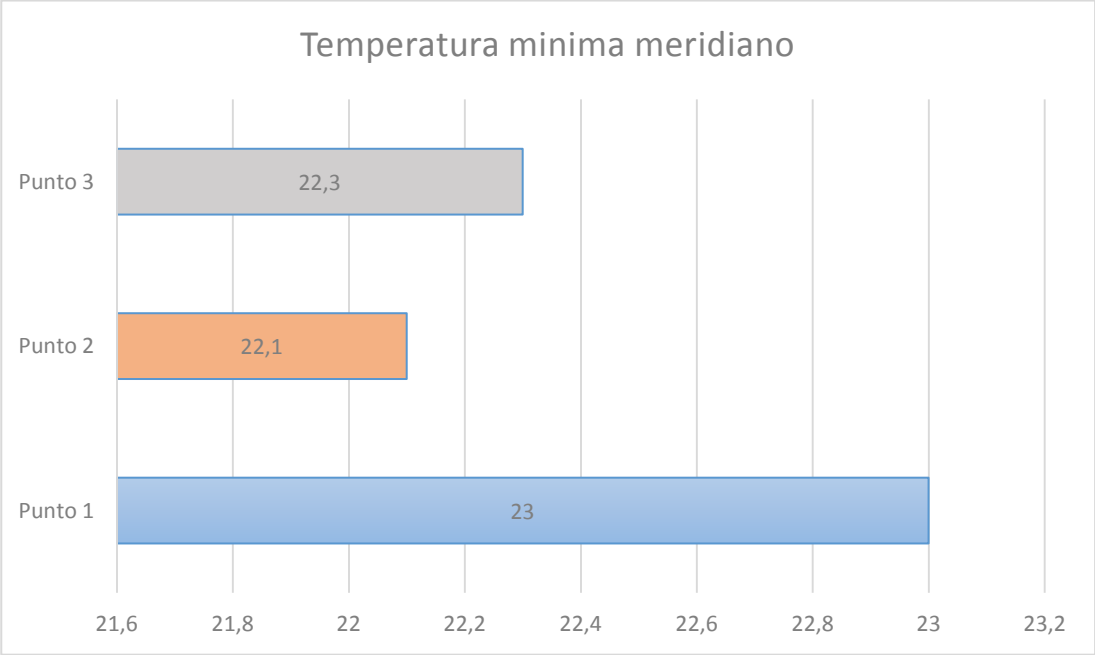
Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Temperatura mínimo matutino**



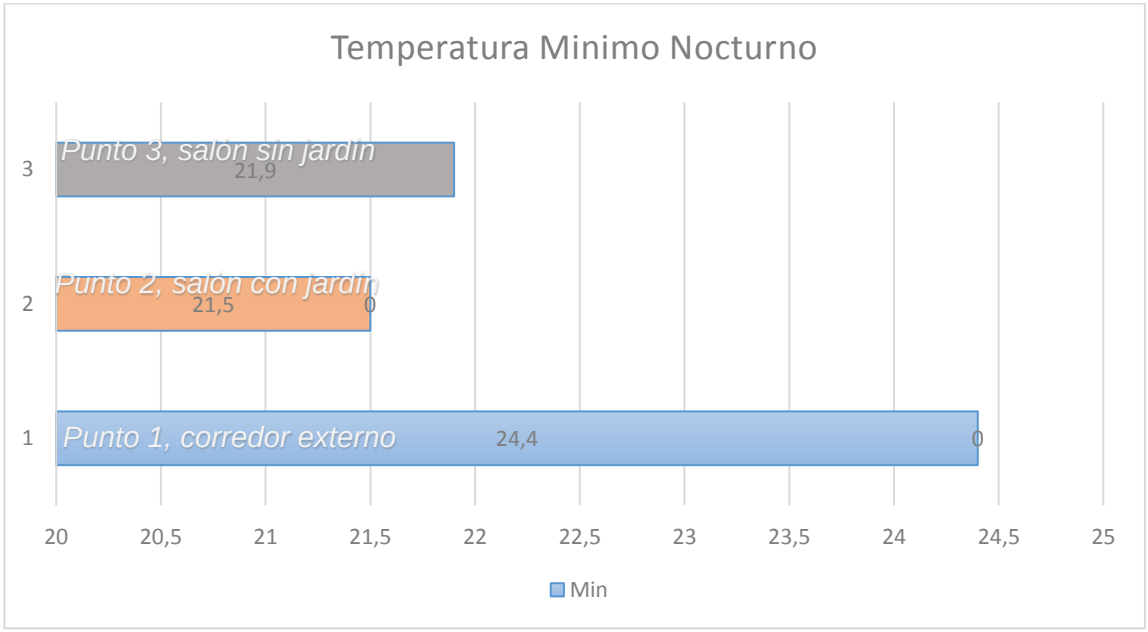
Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Temperatura mínimo meridiano**



Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Temperatura mínimo nocturno**



Fuente: elaboración propia

Tabla VIII. **Resultados, promedio, máximos y mínimos de disminución de temperatura**

	°C	Punto 1 (corredor exterior)	Punto 2 (salón con jardín)	Punto 3 (salón sin jardín)	Diferencia entre punto 1 y punto 2	Diferencia entre punto 1 y punto 3
MATUTINO	Promedio	27.43	26.91	26.95	0.52	0.48
	Max	35.2	33.2	33.2	2	2
	Min	22.4	21.8	22.2	0.6	0.2
MERIDIANO	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**		
	Promedio	31.9	30.25	30.49	1.65	1.41
	Max	38	35.7	35.9	2.3	2.1
	Min	23	22.1	22.3	0.9	0.7
NOCTURNO	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**		
	Promedio	28.06	26.75	27.79	1.31	0.27
	Max	33.3	32.9	33.1	0.4	0.2
	Min	24.4	21.5	21.9	2.9	2.5

Fuente: elaboración propia.

3.5. Medición de humedad

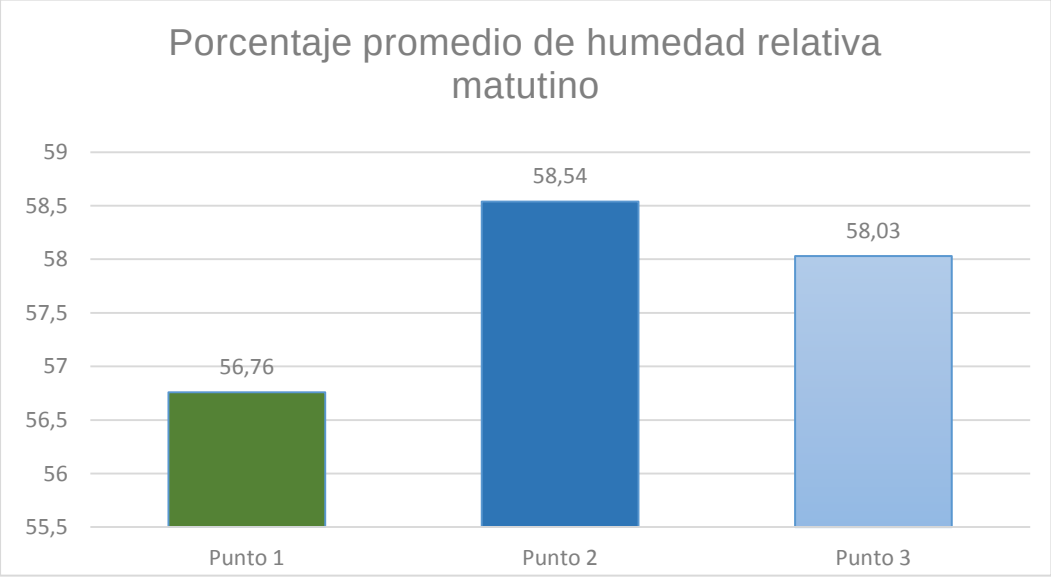
En la tabla VII se presenta el promedio de las lecturas de humedad relativa que se tomaron entre los meses de enero a abril, durante 30 días intercalados, tomando los datos en los horarios antes mencionados, con un intervalo de 2 horas cada uno, ya que la toma de datos estaba condicionada por las actividades académicas en cada salón.

Tabla IX. **Datos de porcentaje promedio de humedad relativa documentados de un período de 30 días**

HUMEDAD RELATIVA %				
MATUTINO	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
	Promedio	56.76	58.54	58.03
MERIDIANO	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
	Promedio	48.82	49.89	54.78
NOCTURNO	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
	Promedio	48.82	49.98	54.78

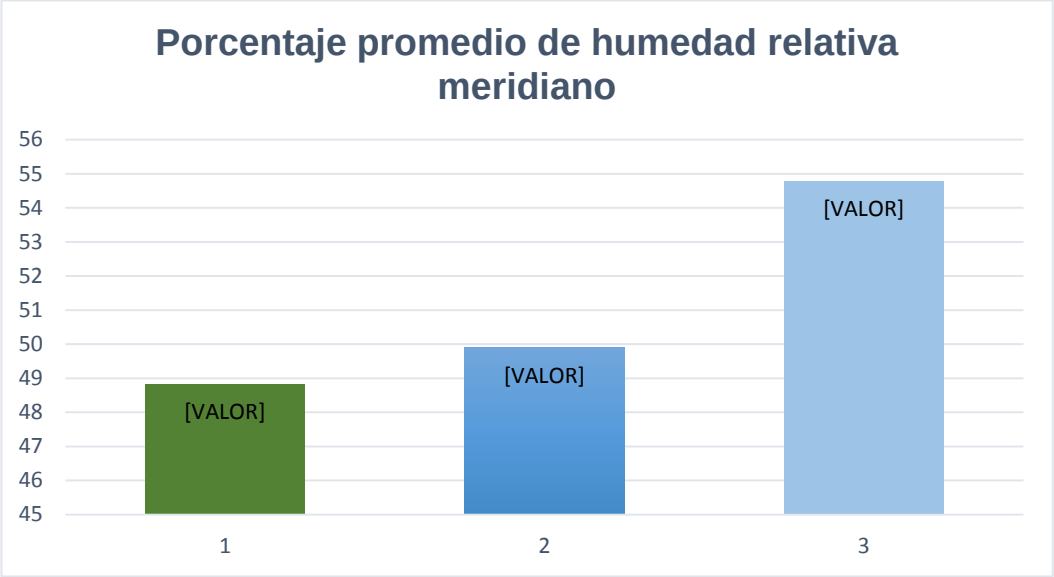
Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Porcentaje promedio de humedad relativa de horario matutino**



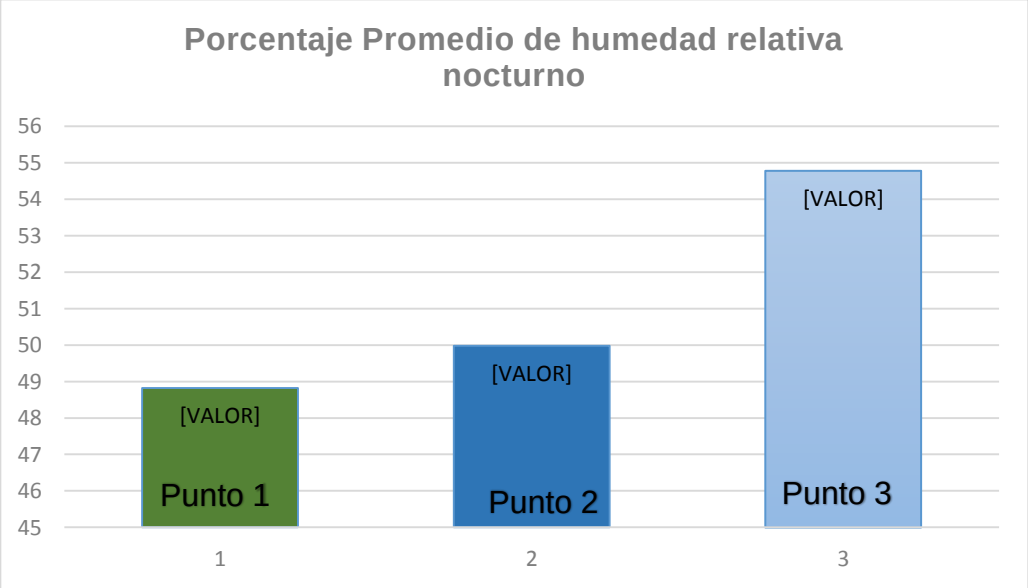
Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Porcentaje promedio de humedad relativa de horario meridiano**



Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Porcentaje promedio de humedad relativa de horario nocturno**



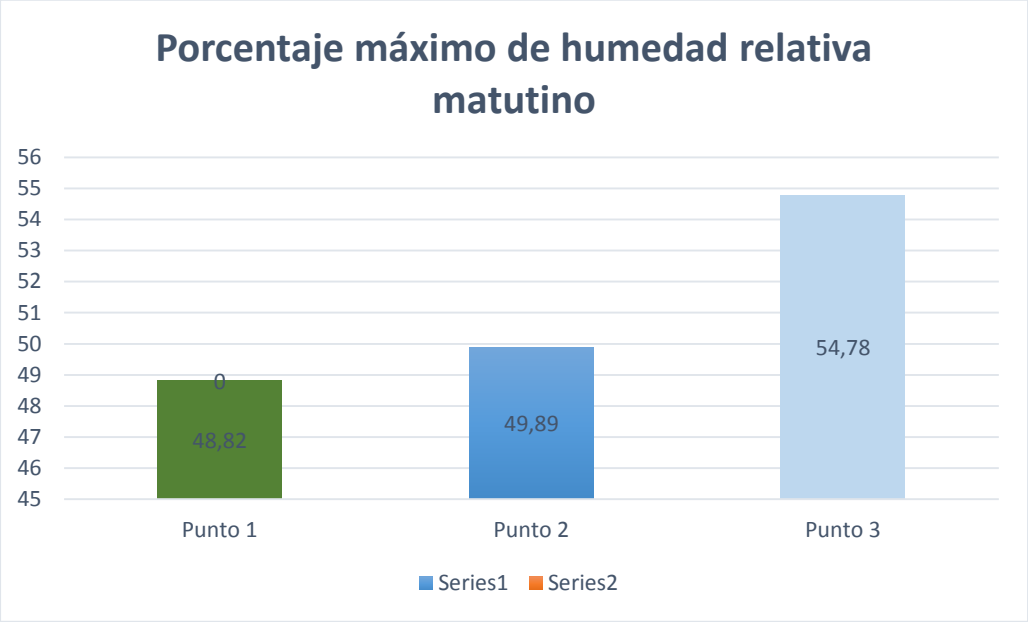
Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Datos de porcentaje máximo de humedad relativa documentados de un período de 30 días**

HUMEDAD RELATIVA %				
MATUTINO	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
	Max	72.8	77.2	72.3
MERIDIANO	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
	Max	66	66.6	71.6
NOCTURNO	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
	Max	66	66.6	71.6

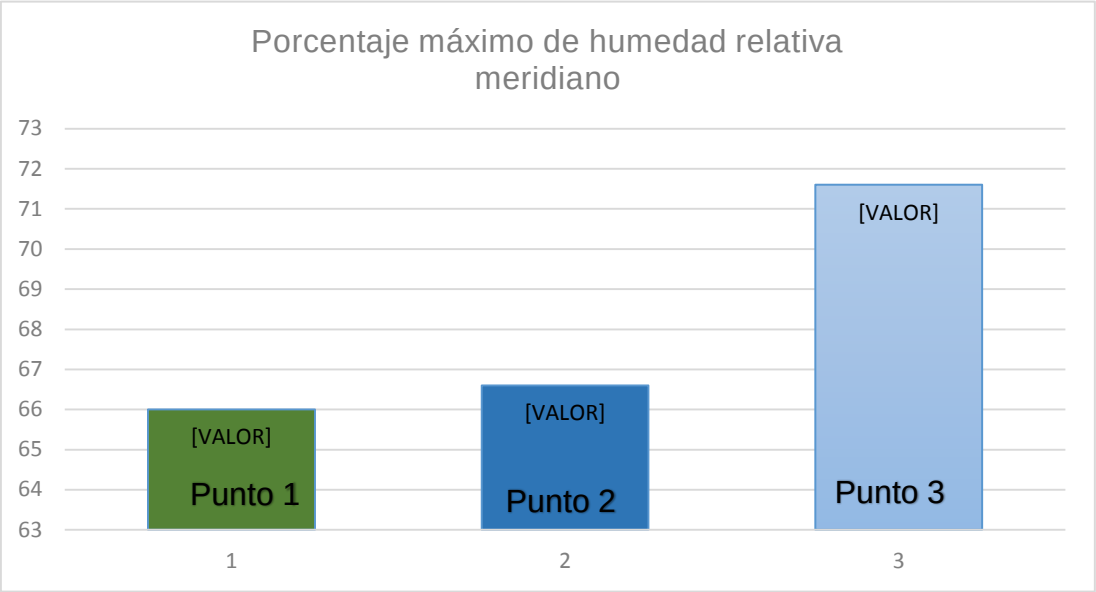
Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Porcentaje máximo de humedad relativa de horario matutino**



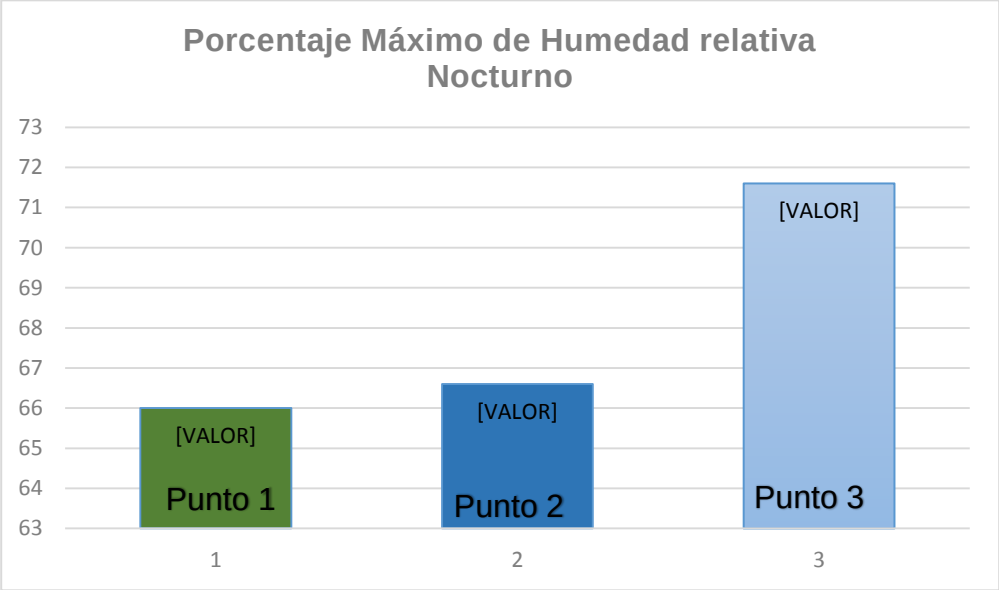
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Porcentaje máximo de humedad relativa de horario meridiano**



Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Porcentaje máximo de humedad relativa de horario nocturno**



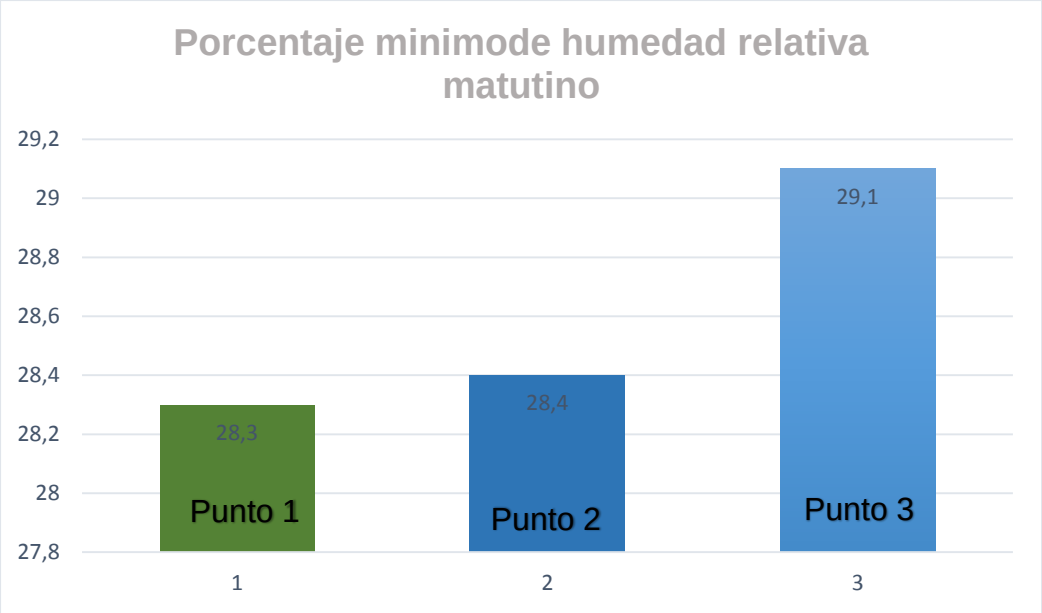
Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Datos de porcentaje mínimo de humedad relativa documentados de un período de 30 días**

HUMEDAD RELATIVA %				
MATUTINO	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
	Min	28.3	28.4	29.1
MERIDIANO	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
	Min	27.2	28.8	27
NOCTURNO	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**
	Min	27.2	28.8	27

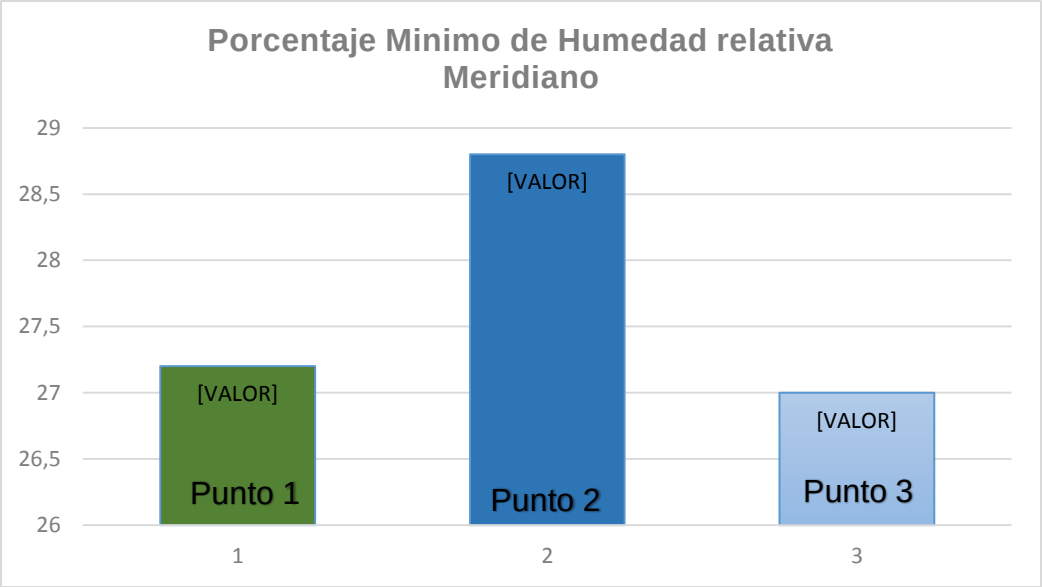
Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Porcentaje mínimo de humedad relativa de horario matutino**



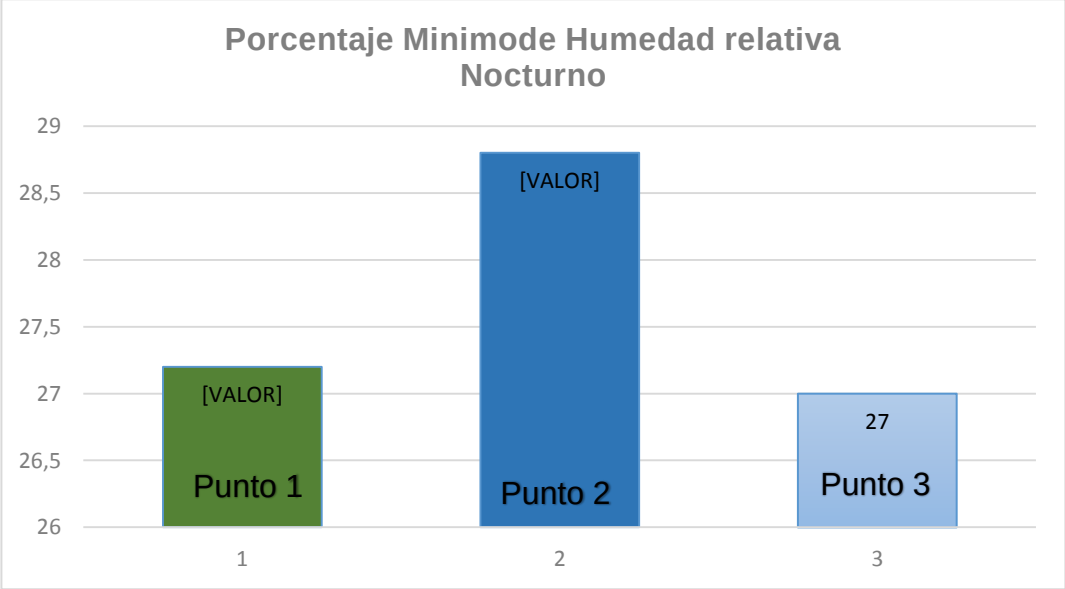
Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Porcentaje mínimo de humedad relativa de horario meridiano**



Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Porcentaje mínimo de humedad relativa de horario nocturno**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Resultados, promedio, máximos y mínimos de incremento de humedad**

	°C	**Punto 1 (Corredor exterior)**	**Punto 2 (salón con jardín)**	**Punto 3 (salón sin jardín)**	**Diferencia entre punto 1 y punto 2**	**Diferencia entre punto 1 y punto 3**
MATUTINO	Promedio	56.76	58.54	58.03	1.78	1.27
	Max	72.8	77.2	72.3	4.4	-0.5
	Min	28.3	28.4	29.1	0.1	0.8
MERIDIANO	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**		
	Promedio	48.82	49.89	54.78	1.07	5.96
	Max	66	66.6	71.6	0.6	5.6
	Min	27.2	28.8	27	1.6	-0.2
NOCTURNO	°C	**Punto 1**	**Punto 2**	**Punto 3**		
	Promedio	48.82	49.98	54.78	1.16	5.96
	Max	66	66.6	71.6	0.6	5.6
	Min	27.2	28.8	27	1.6	-0.2

Fuente: elaboración propia.

3.6. Medición de percepción térmica

Durante los días 29 y 31 de marzo del año 2017 se pasaron encuestas con los estudiantes de ingeniería agronómica del 3er y 5to semestre, durante el horario de 12:00 a 13:00 hrs, el día 29, estuvieron en sus salones cotidianos.
El 3er semestre utiliza el salón 2, punto de medición 2 (con jardín vertical) y el 5to semestre utiliza el salón 1, punto de medición 3 (sin jardín vertical). Ambos grupos suman 35 estudiantes, y el segundo día se les intercambiaron de salones, para comprobar si sentían cambio en el salón con jardín vertical.

En la encuesta se les dio rangos de temperaturas, para que ellos escogieran la temperatura que creían tenía el ambiente, también se les pregunto acerca de la percepción estética del jardín y que recomendaciones daban para el cuidado o mejora del mismo.

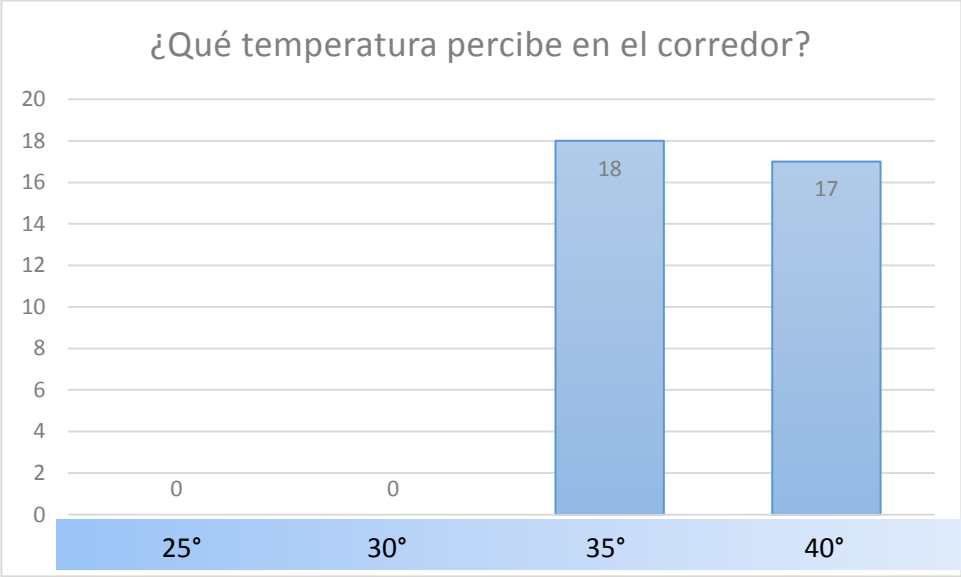
Durante esos días se tomaron datos con el higrómetro y se presentan en la tabla XI Con datos exactos de la temperatura y en las imágenes 39, 40, 41y 42 se describe la percepción térmica y estética de los 35 estudiantes.

Tabla XIII. **Datos de temperatura y humedad relativa del 29 y 31 de marzo, días donde se realizaron las encuestas de percepción térmica**

Fecha:		29/03/2017			31/03/2017		
		Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 1	Punto 2	Punto 3
	Humedad relativa %	26.7	28.6	31.6	29.7	30.1	31.4
Meridiano	Bulbo seco °C	38	35.6	35.3	36.1	36.1	35.3

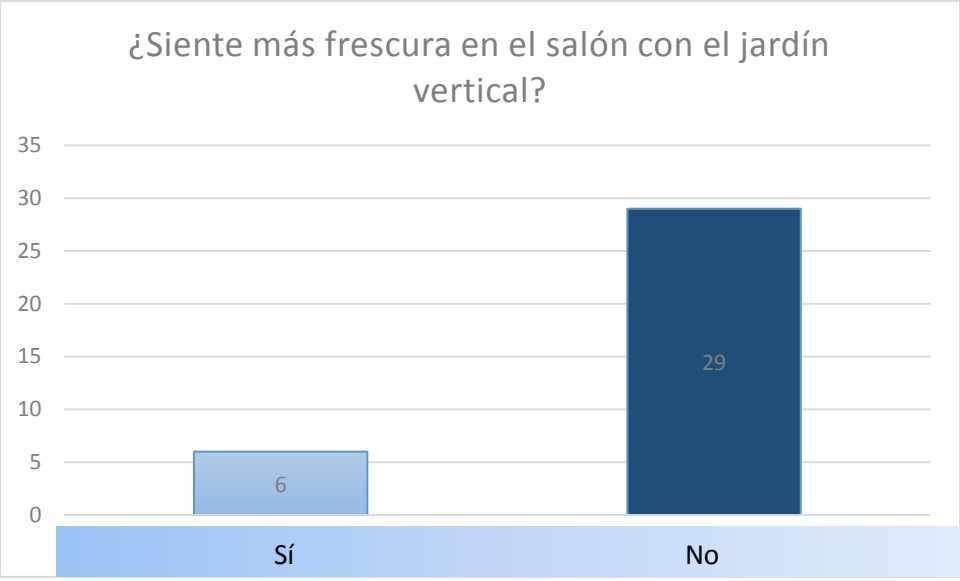
Fuente: elaboración propia

Figura 39. **Temperatura perceptible en el punto 1**



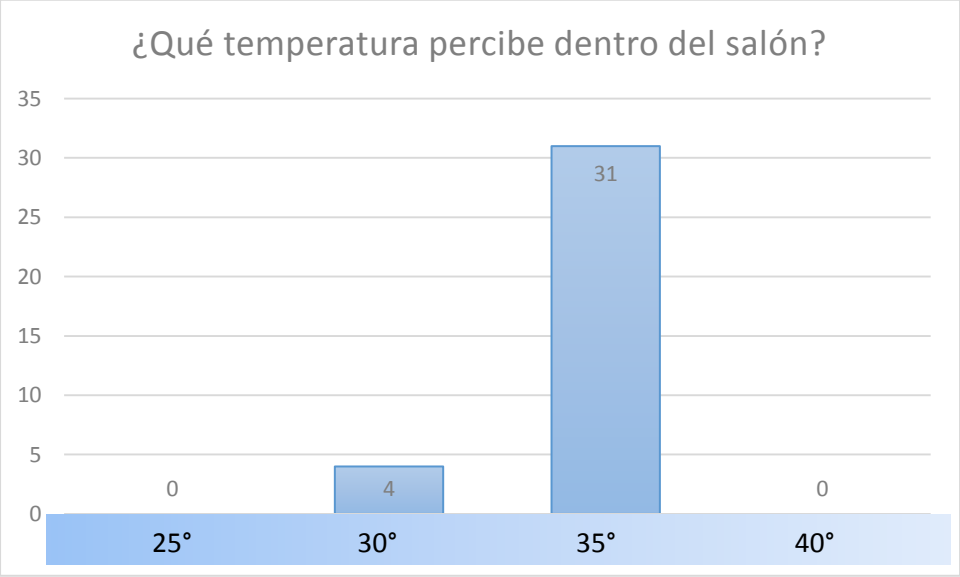
Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Temperatura perceptible en el punto 2**



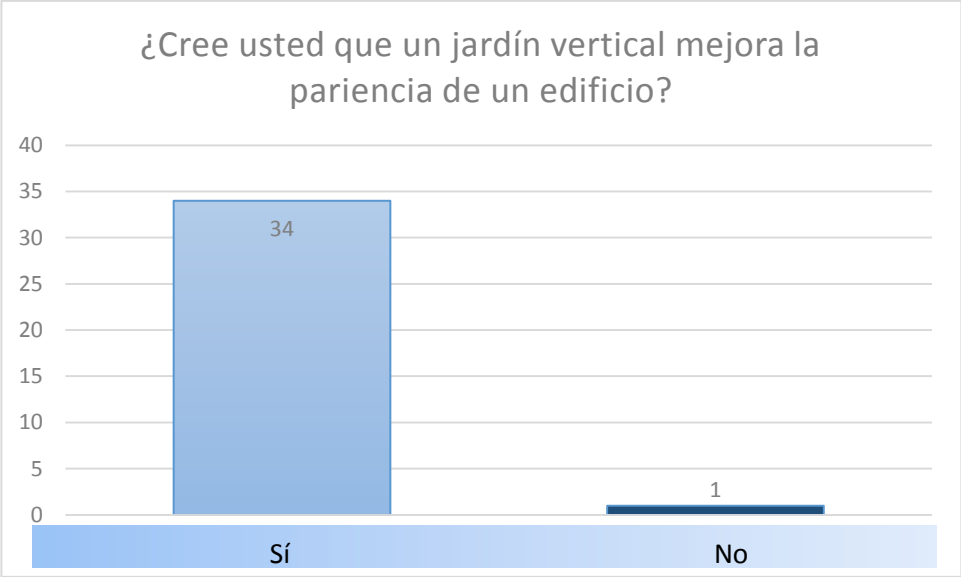
Fuente: elaboración propia

Figura 41. **Temperatura perceptible en el punto 3**



Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Percepción estética**



Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

TEMPERATURA

Según los datos empíricos en Tokio se lograron la reducción de 5 °C a 8 °C en la superficie de la fachada, siendo ya un jardín maduro, y este estudio se realizó con un jardín en su primera etapa de la evaluación de temperatura, que fue hecha comparativamente dentro de 3 puntos. En los 30 días que se estudió dicha variable dio como resultado que un jardín vertical en su fase inicial tuvo un promedio de reducción de la temperatura exterior en **0.52 °C** en horario matutino, en horario meridiano disminuyó en **1.65 °C** y en horario Nocturno **1.31 °C** evidenciando los resultados positivos con respecto a la reducción de la temperatura ambiente dentro del microclima del salón 2 punto 2, el cual contaba con la cubierta vegetal, en comparación del salón 1 punto 3, que no poseía más cubierta que el muro de concreto como tal, tomando la temperatura exterior ubicada en el punto 1, corredor, la cual era más alta.

HUMEDAD

La evaluación de la humedad que fue hecha comparativamente dentro de 3 puntos, da como resultado que un jardín vertical en su fase inicial tuvo un promedio de incremento en la humedad relativa exterior en **1.78 %** en horario matutino, en horario meridiano aumento un **1.07 %** y en horario nocturno **1.16 %** evidenciando los resultados positivos con respecto a la reducción de la temperatura ambiente dentro del microclima del 2 punto 2, el cual contaba con la cubierta vegetal, en comparación del salón 1 punto 3, que no poseía más cubierta que el muro de concreto como tal, toma la temperatura exterior ubicada

en el punto 1, corredor, la cual era más alta. Los valores mínimos y máximos alcanzados en la medición de los 30 días entre los meses de enero a abril se pueden observar en la tabla 13 de este mismo documento.

CONFORT HIGROTÉRMICO

Según las encuestas que se realizaron a los estudiantes, los días 29 y 31 de marzo, arrojaron, que la percepción térmica aún no presentaba mejora perceptible para los usuarios, debido a que el jardín es muy joven, según la opinión de los estudiantes le faltaba crecimiento, a lo que se concluye que por la falta de follaje, no se produjo el efecto de sombra que es el que nos ayuda a tener menos temperatura, y debido a que habían pocas hojas el efecto de evapotranspiración que eleva la humedad del ambiente, fue menor.

CONCLUSIONES

1. En este estudio se logró observar que, en su etapa inicial, el jardín vertical elaborado en el Centro Universitario de El Progreso durante el año 2017, se logró disminuir la temperatura interior del edificio hasta un máximo de 2.3 °C, variando 0.02 °C en comparación al salón que no contaba con ningún tipo de cubierta vegetal.

   Debido a que se creó el efecto sombra ayudado por el follaje de las plantas jóvenes, se concluye que los neumáticos quedaron descubiertos a la percepción solar y esto pudo provocar un efecto de radiación en vez de aislamiento, por lo que se cree algunas plantas no prosperaron, debido al máximo de disminución de temperatura, fue tomado durante el horario meridiano, se concluye que este tipo de sistema de refrigeración pasiva puede ser beneficioso, pero se deben analizar otras alternativas, o analizar las experimentadas.

2. Según los datos recolectados durante 30 días, se observó el incremento promedio de la humedad relativa de 1.78 %, lo que apoya y valida el planteamiento formado por Michael Marks David en el MOUSS, donde dice que un ambiente se puede climatizar por medio del agua que aporta el sustrato para enfriar el ambiente. (Marks & Rivera, 2013), ya que el resultado en la etapa inicial del jardín vertical aumentó hasta un máximo de 4.4 % de humedad relativa dentro del salón 2, punto de medición 2. Punto también apoyado por la irrigación diaria de las plantas, no solo por goteo.

3. Se cree que debido a que el jardín vertical se encontraba muy joven y aún la proliferación de la vegetación escogida era poca, esto afectó el efecto de sombra, y la percepción higrotérmico de estudiantes y docentes, que son los usuarios cotidianos dentro del salón no varío, pero en su mayoría los usuarios tuvieron confort visual, debido a la vegetación dentro de edificios de concreto. Y siendo 13 m^2 los cubiertos, los usuarios no percibieron una sensación comparada con el aire acondicionado, ya que la idea de refrigeración pasiva para los usuarios, es llegar a los términos de refrigeración artificial.

4. El mejor y más adaptable tipo de vegetación fueron colas de quetzal, cachitos y corazones, en sus nombres comunes, ya que necesitan de poco mantenimiento y proliferan sin necesidad de riego constante. Las plantas que murieron o proliferaron lentamente fueron las medicinales, dichas plantas se colocan dentro de los neumáticos como dentro del jardín frontal, siendo las segundas las que evolucionaron sin mayor intervención, este tipo de plantas, fueron: Té de limón, hierbabuena, salvia sija y albahaca, creyendo que el calor percibido por los neumáticos o por los 10 cm de profundidad del sustrato, este tipo de vegetación, no encontró las condiciones adecuadas para sobrevivir.

RECOMENDACIONES

1. Que se divulgue la información obtenida en esta investigación para así continuar con las tomas de datos en una etapa más madura del jardín vertical, preferentemente, cuando la proliferación de la vegetación ya haya alcanzado un mínimo del 80% de cubrimiento del área de la fachada del salón 2.

2. Que se mantenga el adecuado mantenimiento al jardín vertical, así como riego, fertilización y control de plagas, de parte de servicios del Centro Universitario de El Progreso.

3. Que se experimente con otro tipo de macetas y se tomen imágenes termográficas, para saber si la transmisión calorífica de los neumáticos también influyó en la temperatura del microclima del salón 2 y a su vez, que se reemplace la vegetación que tuvo poca o nula adaptación del entorno.

4. Que se gestione la instalación de una estación meteorológica dentro del Centro Universitario de Guastatoya, para obtener datos de las variables de Velocidad del viento y temperatura radiante, que no se incluyeron en esta investigación, ya que la estación meteorológica más cercana se ubica en San Agustín Acuasaguastlan, el cual es una zona de vida totalmente distinta a la de Guastatoya, y llevar un registro de cada hora para conocer los beneficios en las variaciones de incidencia solar durante el transcurso del día.

5. Que se haga un conteo de partículas en el aire para conocer la calidad de aire que proporciona un jardín vertical contra la calidad de aire que proporciona el aire acondicionado artificial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ministry of Economy Baden-Württemberg in cooperation with environmental protection department of Stuttgart. (2008). *Climate booklet for Urban development,.* Stuttgart: Ministry of Economy Baden-Württemberg.

AENOR. (Octubre 2006). *Norma Española UNE-En-ISO 7730.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo.

Alexandri E, J. p. (2008). *Temperature decreases in an urban Canyon due to green walls and green roofs in diverse climates.* Bringthon: Building and Enviroment.

Allan, D. (2001). *Glass.* Chile: Glass Idition.

Aparicio, M. (1999). *Vidrio y El Futuro.* México: Materials Gla.

Atem, C. G. (2012, septiembre). La diferencia de distintos muros exteriores en el COnfort térmico de viviendas en un clima Subtropical húmedo. *La diferencia de distintos muros exteriores en el COnfort térmico de viviendas en un clima Subtropical húmedo*. Barcelona, España.

B., G. (1991). *Impact of planted areas on urban environmental quality: a review. Atmos Environ Part B 1.* Urban Atmos .

Barcelona, U. d. (n.d.). *http://www.ub.edu*. Retrieved from http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/l%C3%A1tex-caucho

Benitez, A. C. (2009). *GUATEFLORA.* Guatemala: I.S.B.N. 978-999-2-351-2.

C.Y. Cheng, K. K. (2008). *Thermal Performance of vegetated cladding System of façade walls.* Kowloon Hong Kong: Housing department Hong Kong sar government.

Cardenas, E. (1991). *Vidrio Templado.* Mexico: U.A.N.L.

Copias de Suelos. (n.d.). ITP-PARANINFO.

Fernandez, A. C. (2007). *Fisica del vidrio.* Mexico: Paredes Salido.

Garcia, J. J. (2002). *Vidrio y Cerámica.* Mexico: Renovando.

Gonzalez, B. (1998). *Energias Renovables.* Venezuela: Electricas.

Jose, M. (2009). *Desperdicio para su Reutilizacion .* Monterrey Mexico: Valle J.M.

Julián Pérez Porto, A. G. (2010). *Definición.de.* Retrieved from Definición de sustrato: http://definicion.de/sustrato/

Linden, V. d. (2008, 03 2008). Conversación sobre el confort termal y la transpiración de plantas. (M. M. Davis, Interviewer)

Lobo, E. S. (2005). *Técnicas de Fusion.* Madrid España: Pasta.

López, T. y. (2012). *Aprovechamiento energético de residuos: el caso de los neumáticos fuera de uso.*

Lozano, M. A. (2010). *Uso de Vidrio de Desecho.* México DF: Peñas.

M, S. (2001). *Energy And Climate in the Urban Built environment.* Londres: James and James Publisher.

M., G. J. (2012). *Desarrollo de la termodinámica.* Amertown International S.A.

Madex. (n.d.). Retrieved from http://www.madex.es/index.php?id=387

Marian Buraglia, D. A. (n.d.). *Jardines Verticales y sistemas botánicos en entornos Urbanos.* Colombia: Universidad del Bosque.

McDonough, W. c. (2011, Marzo). *www.interscience.wiley.com.* Retrieved from “Organic greenroof architecture: sustainable design for the new millenium” Environmental Quality management. : www.interscience.wiley.com

Mendez, F. J. (2002). *Desarrollo Del Vidrio .* Mexico: Ingenierias ITE.

Michael Maks Davis, F. R. (2013). Muro Orgánico Urbano Silvestre Sostenible (MOUSS). *Primer congreso internacional expo científica, Investigación sostenible; Energías Renovables y Eficiencia Energética* (pp. 2-3). Cambridge: Evolution Engineering, Design and Energy Systems,.

Montoro, J. S. (2003). *Lectura Vidrio.* España: UNED.

Mussi, J. (2002). *Proteccion Institucional del Medio Ambiente.* Barcelona España: Atentos.

Onishi A, C. X. (2010). *Evaluating the potential for urban heatisland mitigation by greening parking lots. .* Tokio: Urban For Urban Green.

Papadakis G, T. P. (2001). *An experimental investigation of effects of shading with plants for solar control of buildings energy and building.* London: Buildings and Energy.

Pedro R. Mondelo, E. G. (2013). *Ergonomía: Confort y estrés térmico.* La Cambra: Mutua Universal.

Pedro R. Mondelo, E. G. (Mayo 2013). *Ergonomía: Confort y estrés térmico.* La Cambra: Mutua Universal.

Peitado, M. (2005). *Ceramica y Vidrio.* Madrid España: Materials Science.

Perez, A. (2002). *Medio Ambiente.* Sevilla España: Experter Live.

Quesada, A. (2008). *Vidrio CSIC .* Colombia: Postdoctoral.

R.S. Loomis, D. C. (2002). *Ecología de Los Cultivos, productividad y manejo de sistemas agrarios.* Mundi-Prensa .

Ramon, X. R. (2006). *Estudio de Aplicacion del Vidrio.* Catalunya España: La Universitat.

Real Academia Española y Asociación de Academias de la Lengua Española . (2014). *Diccionario de la lengua española .* RAE.

SEGEPLAN. (2015). Tablas Higrorificas, información ambiental. Guatemala, Guatemala.

Sheweka S, M. A. (2011). *The living walls as an approach for a healthy urban environment.* Energy Proced.

Shibuya K, S. Y. (2007). *Black survey of wall covered with plant in the city of Tokyo and evaluation of thermal environment of wall greening system. .* Tokyo: Tokyo Metropolitan agriculture and Forest Research centre .

Stec Luj, P. A. (2005). *Modelling the double skin Façade with Plants.* Energy Buildings.

Torre, J. M. (1999). La vegetación como instrumento de control climático. Barcelona, España : Universitat politècnica de catalunya.

Trewartha, G. T. (1980). *An introduction to climate.* New York: McGraw-Hill.

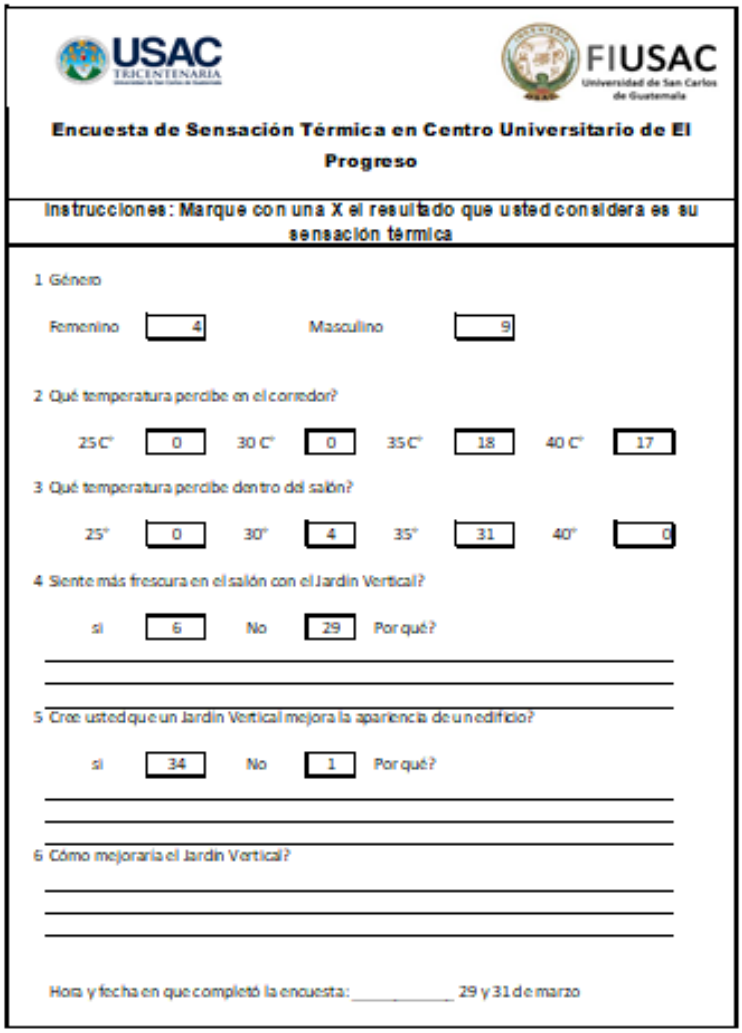
Vilella, E. C. (1983). Confort térmico, Método de Fanger para su evaluación. 1.

Wong NH, T. A. (2010). *Et al thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls.* London: building and environment .

ANEXOS

Anexo 1.

ENCUESTA**: percepción térmica de usuarios**



Encuesta de Sensación Térmica en Centro Universitario de El Progreso

Instrucciones: Marque con una X el resultado que usted considera es su sensación térmica

1 Género

Femenino 4 Masculino 9

2 Qué temperatura percibe en el corredor?

25 C° 0 30 C° 0 35 C° 18 40 C° 17

3 Qué temperatura percibe dentro del salón?

25° 0 30° 4 35° 31 40° 0

4 Siente más frescura en el salón con el Jardín Vertical?

si 6 No 29 Por qué?

5 Cree usted que un Jardín Vertical mejora la apariencia de un edificio?

si 34 No 1 Por qué?

6 Cómo mejoraría el Jardín Vertical?

Hora y fecha en que completó la encuesta: _____ 29 y 31 de marzo

Fuente: elaboración propia.

Anexo 2.

Ficha técnica termohigrometo marka Fluke.

Registro de productos | Descarga de manuales

Medidor de humedad relativa y temperatura Fluke 971

Información General | Características | Especificaciones | Modelos, Accesorios y Precio | Más Información

Especificaciones	
Rango de temperaturas	-20 °C a 60 °C (-4 °F a 140 °F)
Precisión de temperatura	0 °C a 45 °C (±0,5 °C) -20 °C a 0 °C y 45 °C a 60 °C (±1,0 °C) 32 °F a 113 °F (±1,0 °F) -4 °F a 32 °F y 113 °F a 140 °F (±2,0 °F)
Resolución	0,1 °C/0,1 °F
Tiempo de respuesta (temperatura)	500 ms
Tipo de sensor de temperatura	NTC
Rango de humedad relativa	5% a 95% HR
Precisión de humedad relativa	10% a 90% HR a 23 °C (73,4 °F) (±2,5% HR) (<10%, > 90% HR a 23 °C (73,4 °F) (±5,0% HR)
Sensor de humedad	Sensor de película de polímero de capacitancia electrónica.
Capacidad de almacenamiento de datos	99 puntos
Tiempo de respuesta (humedad)	Para el 90% del rango total: 60 segundos con movimiento de aire de 1m/s

Especificaciones de ambiente	
Temperatura de trabajo	Temperatura: -20 °C a 60 °C Humedad: 0 °C a 55 °C
Temperatura de almacenamiento	-20 °C a 60 °C a < 80% H.R. (sin la batería)

Especificaciones mecánicas y generales	
Peso	190 g (6,7 oz)
Dimensiones	194 mm x 60 mm x 34 mm
Tipo de batería	4 baterías alcalinas AAA
Duración de la batería	200 horas

Fuente: http://www.fluke.com/fluke/gtes/instrumentos-para-climatizacion-y-calidad-del-aire-en-interiores/medidores-de-aire/fluke-971.htm?pid=56155.