

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FUNDADA EN 1551

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

UNIDAD DE POSGRADO



LINEA DE INVESTIGACIÓN

SEGURIDAD AMBIENTAL

TÍTULO

**“CONSTRUCCIÓN EXPERIMENTAL DE JARDINES VERTICALES Y SU
RELACIÓN CON EL CONFORT TERMOHIGROMÉTRICO EN AMBIENTES
CERRADOS.”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

PRESENTADA POR:

MARIO VICENTE CABRERA VALLEJO

LIMA-PERÚ

2016

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

“La responsabilidad del contenido de este proyecto de Tesis, corresponde exclusivamente a: Mg. Mario Vicente Cabrera Vallejo y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos”.

AGRADECIMIENTO

Yo, Mario Vicente Cabrera Vallejo agradezco, a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos a la Facultad de Ingeniería Industrial, que me brindaron la oportunidad de adquirir los conocimientos para formarme como profesional responsable, capaz y competitivo para contribuir en el desarrollo del país.

Al Ingeniero Dr. Jorge Luis Inche Mitma profesor asesor de tesis por brindarme el apoyo incondicional durante la realización de este trabajo.

Agradezco a los miembros del jurado examinador por brindarme su tan valioso tiempo, por su excelente orientación, dirección y todos los consejos que me permitieron alcanzar los objetivos de este trabajo.

DEDICATORIA

Dedico esta investigación, a Dios nuestro creador, a mis padres: Luis Cabrera y Yolanda Vallejo.

A mis esposa e hijos: Quienes me regalaron todo el tiempo para terminar esta investigación y siempre se preocupan por mi bienestar.

A mis hermanos: Quienes me enseñaron que hay que vencer los obstáculos que se presentan en la vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVI
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	XVII
RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Situación Problemática	1
1.2 Formulación del Problema.	4
1.2.1 Problema General.....	4
1.2.2 Problemas Específicos	4
1.3 Justificación.....	5
1.3.1 Justificación teórica.	5
1.3.2 Justificación práctica.....	6
1.4. Objetivos de la Investigación.....	10
1.4.1 Objetivo General.	10
1.4.2 Objetivos Específicos.	10
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	11
2.1 Marco Filosófico o epistemológico de la investigación.	11
2.2 Antecedentes de investigación.....	13
2.2.1 Estudios sobre Jardines verticales.	13

2.2.2 Estudios sobre parámetros del confort térmico	17
2.3 Bases Teóricas.	39
2.3.1 Viviendas confortables	39
2.3.2 Metodología del desarrollo del producto.....	44
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	49
3.1 Tipo y Diseño de Investigación.	49
3.2 Procedimiento.....	51
3.2.1 Tipos de jardines verticales.	51
3.2.2 Elementos de un Jardín Vertical	52
3.2.3 Diseño de los jardines verticales usando la metodología seis sigma.....	58
3.3 Unidad de análisis.	84
3.4 Técnicas de recolección de datos.....	84
3.5 Análisis e interpretación de la información.	85
CAPÍTULO 4 : RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	86
4.1 Análisis, interpretación y discusión de resultados	86
4.1.1 Resultados del jardín vertical de helechos (Nephrolepis exaltata).....	86
4.1.2 Resultados de la asociación de plantas. Helecho (Nephrolepis exaltata), Cintas (Chlorophytum comosum), Hiedra (Hedera hélix) y Espada de San Jorge (Sansevieria trifasciata)	86
4.2 Resultados de los análisis de laboratorio a ser utilizado en los jardines verticales, para controlar la humedad de las plantas.	87
4.2.1. Procesamiento de la medición de las condiciones ambientales como: la temperatura del bulbo húmedo (Tbh°C), temperatura de bulbo seco (Tbs°C), temperatura de globo (Tg°C), humedad relativa (%Hr), temperatura global de bulbo húmedo (TGBHi°C) y velocidad del aire (v m/s), en las cabinas de ensayo con prototipo y sin prototipo de jardín vertical en convección natural y forzada.....	92
4.2.2. Segundo procesamiento de las condiciones ambientales de las cabinas de ensayos con el prototipo de jardín vertical de plantas asociadas en convección natural y forzada, aumentando el área de jardín.	113

4.3. Prueba de Hipótesis.	124
4.3.1. Hipótesis general:.....	124
4.3.2. Hipótesis específicas:.....	124
4.3.3 Hipótesis de la construcción del jardín vertical con cuatro tipos de plantas aumentando el área de jardín a 8 m ² , con volumen de cabina de 15,35 m ³	133
4.4. Presentación de resultados	138
4.4.1 Comparación de los valores promedios semanales de las condiciones ambientales en convección natural y forzada de la cabina de ensayo con el prototipo de jardín vertical de helechos con el Reglamento Ecuatoriano de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto ejecutivo 2393).	138
4.4.2 Resultados de la comparación de los valores de los promedios semanales de las condiciones ambientales en convección natural y forzada de la cabina de ensayo con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas con el Reglamento de Seguridad y Salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto ejecutivo 2393).	139
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	145
Conclusiones.	145
Recomendaciones.	148
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	149
ANEXOS.....	153

Índice de Tablas

Tabla 1. Normativa de carga laboral	8
Tabla 2. La influencia de la precisión en la estimación de la tasa metabólica y aislamiento de prendas de vestir en valores PMV y el PPD.	29
Tabla 3. Registro de datos con el prototipo de jardín vertical de helechos en convección natural ($v=0$ m/s).....	93
Tabla 4. Registro de datos sin el prototipo de jardín vertical de helechos en convección natural ($v=0$ m/s).....	93
Tabla 5. Registro de datos con el prototipo de jardín vertical de helechos en convección forzada.....	97
Tabla 6. Registro de datos sin el prototipo de jardín vertical de helechos en convección forzada.....	98
Tabla 7. Registro de datos con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección natural ($v=0$ m/s).....	103
Tabla 8. Registro de datos sin el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección natural ($v=0$ m/s).....	104
Tabla 9. Registro de datos con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección forzada.....	108
Tabla 10. Registro de datos sin el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección forzada.....	109
Tabla 11. Segundo registro de datos con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección natural ($v=0$ m/s).....	113
Tabla 12. Segundo registro de datos sin el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección natural ($v=0$ m/s).....	114
Tabla 13. Segundo registro de datos con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección forzada.....	119
Tabla 14. Segundo registro de datos sin el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección forzada	119
Tabla 15. Correlaciones entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando solo helechos con jardín vertical en convección natural (TGBHHCJCN) y la	

temperatura de global de bulbo húmedo utilizando solo helechos sin jardín vertical en convección natural (TGBHHSJCN).....	125
Tabla 16. Correlaciones entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas con jardín vertical en convección natural (TGBHVPCJCN) y la temperatura global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas sin jardín vertical en convección natural (TGBHVPSJCN)	127
Tabla 17. Correlaciones entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando un solo tipo de planta con jardín vertical en convección natural (TGBHHCJCF) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando un solo tipo de planta sin jardín vertical en convección natural (TGBHHSJCF).....	129
Tabla 18. Correlaciones entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas con jardín vertical en convección forzada (TGBHVPCJCF) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical en convección forzada (TGBHVPSJCF)	131
Tabla 19. Correlaciones entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas con jardín vertical a mayor área en convección natural (TGBHVPCJMACN) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical a mayor área en convección natural (TGBHVPSJMACN).	134
Tabla 20. Correlaciones entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas con jardín vertical a mayor área en convección forzada (TGBHVPCJMACF) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical a mayor área en convección forzada (TGBHVPSJMACF).....	136
Tabla 21. Comparación de las Condiciones Ambientales de la cabina con el prototipo de jardín vertical de helechos en convección natural con el Reglamento de Seguridad y Salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto ejecutivo 2393).....	138
Tabla 22. Comparación de las Condiciones Ambientales de la cabina con el prototipo de jardín vertical de helechos en convección forzada con el Reglamento de Seguridad y	

Salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto ejecutivo 2393).....	139
Tabla 23. Comparación de las Condiciones Ambientales de la cabina con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección natural con el Reglamento de Seguridad y Salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto ejecutivo 2393).....	140
Tabla 24. Comparación de las Condiciones Ambientales de la cabina con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección forzada con el Reglamento de Seguridad y Salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto ejecutivo 2393).....	141
Tabla 25. Comparación de las Condiciones Ambientales de la cabina con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas con mayor área de jardín, en convección forzada con el Reglamento de Seguridad y Salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto ejecutivo 2393).	142

Índice de Figuras

Figura 1. Zona de conformidad térmica.	24
Figura 2. Aislamiento requerido para conformidad.	25
Figura 3. Matriz de priorización para determinar los requerimientos del cliente.	59
Figura 4. Diagrama de procesos para la construcción de 8 marcos metálicos para los jardines verticales.	65
Figura 5. Diagrama de procesos para la colocación de la malla metálica.	67
Figura 6. Diagrama de procesos para la distribución de las plantas en los jardines verticales.	70
Figura 7. Cuadro resumen de tiempos, para la construcción de los marcos metálicos, colocación de la malla y distribución de plantas de los jardines verticales.	70
Figura 8. Diagrama de procesos mejorado para la construcción de 8 marcos metálicos para los jardines verticales.	73
Figura 9. Diagrama de procesos mejorado para la colocación de la malla metálica.	74
Figura 10. Diagrama de procesos mejorado para la distribución de las plantas en los jardines verticales.	76
Figura 11. Cuadro resumen de tiempos óptimos, para la construcción del marcos metálicos, colocación de la malla y distribución de plantas de los jardines verticales.	77
Figura 12. Distribución de las plantas en las bandejas con un solo tipo de planta.	79
Figura 13. Distribución de las plantas en las bandejas con cuatro tipo de plantas.	80
Figura 14. PH de los diferentes sustratos.	88
Figura 15. Porcentaje de Humedad de los sustratos.	88
Figura 16. Densidad Aparente de los sustratos.	89
Figura 17. Temperatura de los sustratos.	89
Figura 18. Nitrógeno de los sustratos.	90
Figura 19. Fósforo de los sustratos.	90
Figura 20. Potasio de los sustratos.	91
Figura 21. Materia Orgánica de los sustratos.	91
Figura 22. Comparación de las temperaturas °C del jardín con helechos en convección natural ($v=0$ m/s).	94

Figura 23. Comparación de la humedad relativa %HR del jardín con helechos en convección natural ($v=0$ m/s).....	95
Figura 24. Comparación de la temperatura global de bulbo húmedo TGBH °C del jardín con helechos en convección natural ($v=0$ m/s).	96
Figura 25. Comparación de las temperaturas °C del jardín con helechos en convección forzada ($v=0.20$ m/s).	99
Figura 26. Comparación de la humedad relativa %HR del jardín con helechos en convección forzada ($v=0.20$ m/s).....	101
Figura 27. Comparación de la temperatura global de bulbo húmedo TGBH °C del jardín con helechos en convección forzada ($v=0.20$ m/s).	102
Figura 28. Comparación de las temperaturas °C del jardín con asociación de plantas convección natural ($v=0$ m/s).....	104
Figura 29. Comparación de la humedad relativa %HR del jardín con asociación de plantas en convección natural ($v=0$ m/s).....	106
Figura 30. Comparación de la temperatura global de bulbo húmedo TGBH °C del jardín con asociación de plantas en convección natural ($v=0$ m/s).	107
Figura 31. Comparación de las temperaturas °C del jardín con asociación de plantas convección forzada ($v=0,20$ m/s).....	109
Figura 32. Comparación de la humedad relativa %HR del jardín con asociación de plantas en convección forzada ($v=0.20$ m/s).....	111
Figura 33. Comparación de la temperatura global de bulbo húmedo TGBH °C del jardín con asociación de plantas en convección forzada ($v=0.20$ m/s).	112
Figura 34. Comparación de las temperaturas °C del jardín con asociación de plantas convección natural ($v=0$ m/s). Con mayor área de jardín.	115
Figura 35. Comparación de la humedad relativa %HR del jardín con asociación de plantas en convección natural ($v=0$ m/s). Con mayor área de jardín.	117
Figura 36. Comparación de la temperatura global de bulbo húmedo TGBH °C del jardín con asociación de plantas en convección natural ($v=0$ m/s). Con mayor área de jardín.	118
Figura 37. Comparación de las temperaturas °C del jardín con asociación de plantas convección forzada ($v=0.20$ m/s). Con mayor área de jardín.	120

Figura 38. Comparación de la humedad relativa %HR del jardín con asociación de plantas en convección forzada ($v=0.25$ m/s). Con mayor área de jardín.	122
Figura 39. Comparación de la temperatura global de bulbo húmedo TGBH °C del jardín con asociación de plantas en convección forzada ($v=0.20$ m/s). Con mayor área de jardín.	123
Figura 40. Diagrama de dispersión de la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando solo helechos con jardín vertical en convección natural (TGBHHCJCN) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando solo helechos sin jardín vertical en convección natural (TGBHHSJCN).....	126
Figura 41. Diagrama de dispersión de la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas con jardín vertical en convección natural (TGBHVPCJCN) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas sin jardín vertical en convección natural (TGBHVPSJCN).....	128
Figura 42. Diagrama de dispersión de la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando un solo tipo de planta con jardín vertical en convección forzada (TGBHHCJCF) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando un solo tipo de planta sin jardín vertical en convección forzada (TGBHHSJCF).....	130
Figura 43. Diagrama de dispersión de la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas con jardín vertical en convección forzada (TGBHVPCJCF) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical en convección forzada (TGBHVPSJCF)	132
Figura 44. Diagrama de dispersión de la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando con cuatro tipos de plantas con jardín vertical a mayor área en convección natural (TGBHVPCJMACN) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical en convección forzada (TGBHVPSJMACN)	135
Figura 45. Diagrama de dispersión de la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando con cuatro tipos de plantas con jardín vertical a	

mayor área en convección natural (TGBHVPCJMACF) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical en convección forzada (TGBHVPSJMACF).....	137
---	-----

Índice de Anexos.

ANEXO 1. Construcción de las cabinas y de los prototipos de jardín vertical y trasplantación de las plantas.....	154
ANEXO 2. Resultados de los análisis de Laboratorio de Servicios Ambientales de las diferentes muestras de sustratos.....	160
ANEXO 3. Ficha de registros de datos de las condiciones	162
ANEXO 4. Datos de los promedios diarios del prototipo de jardín vertical de helechos (Nephrolepis exaltata) en convección natural.	163
ANEXO 5. Datos de los promedios diarios de las condiciones ambientales del prototipo de jardín vertical de helechos (Nephrolepis exaltata) en convección forzada.....	164
ANEXO 6. Datos de los promedios diarios de las condiciones ambientales con y sin prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en las cabinas en convección natural.....	166
ANEXO 7. Datos de los promedios diarios de las condiciones ambientales con y sin prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en las cabinas en convección forzada.....	168
ANEXO 8. Decreto ejecutivo 2393 reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo.	170

Índice de Fotografías

Fotografía 1. Construcción de las cabinas, colocación de techos, puertas, ventanas y pintura de las cabinas para el jardín vertical.	61
Fotografía 2. Diseño de la estructura de los prototipos de jardín vertical.....	78
Fotografía 3. Diseño de las bandejas del prototipo de jardín vertical.	79
Fotografía 4. Bandejas cubiertas con plástico de polietileno.....	81
Fotografía 5. Trasplante de las plantas en los prototipos.	81
Fotografía 6. Sustrato Sunshine mix 3.5	82

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo mejorar las condiciones termohigrométricas en ambientes cerrados, a través de la Implementación de dos prototipos de jardines verticales, uno conformado por helechos y otro por una asociación de plantas dentro de las cabinas de ensayo construidas de cemento armado de las mismas características, la una con jardín y la otra sin jardín vertical, las dimensiones de las cabinas son: largo de 3,25 m , ancho de 1,75 y altura de la parte frontal 2m, la partes posterior de las cabinas de 2,70 m con techo de zinc, cielo raso , ventanas de un 1 metro cuadrado y puertas de madera. Para la determinación de las plantas se tomó como referencia los vegetales estudiados y recomendados por la NASA, que purifican el aire de interiores, las cuales son: el primer prototipo de jardín vertical de helechos (*Nephrolepis exaltata*), en el segundo prototipo la asociación de plantas de cuatro especies como son: Helechos (*Nephrolepis exaltata*), Cintas (*Chlorophytum comosum*), Hiedra (*Hedera hélix*) y Espada de San Jorge (*Sansevieria trifasciata*).

Se realizó el registro de las condiciones ambientales con el equipo Questem p°34, por 5 días, para un volumen de la cabina de 15,35m³ y una área de 4 m² de jardín, estas son: la temperatura del bulbo húmedo (Tbh°C), temperatura de bulbo seco (Tbs°C), temperatura de globo (Tg°C), humedad relativa (%Hr), temperatura global de bulbo húmedo para interiores (TGBHi°C) y velocidad del aire (v m/s), en las cabinas de ensayo con prototipo y sin prototipo de jardín vertical en convección natural y forzada.

De acuerdo al análisis estadístico de correlación de Pearson se concluye que con la implementación del prototipo de jardín vertical de asociación de plantas se tiene cambios en las condiciones termohigrométricas en ambientes cerrados en convección natural y forzada.

Se recomienda utilizar jardines pasivos construidos con helechos o con varias plantas pero con convección forzada para permitir una recirculación de aire adecuado, reduciendo el efecto de calor, produciendo oxígeno y aportando una mejor estética al ambiente laboral.

Palabras claves:

Condiciones termohigrómetricas, ambientes cerrados, asociación de plantas, temperatura global de bulbo húmedo para interiores, convección natural y forzada, jardines pasivos.

ABSTRACT

This research aims to improve humidity conditions indoors, through the implementation of two prototypes of vertical gardens, one consisting of ferns and another by an association of plants inside cabins test constructed of reinforced concrete of the same characteristics, one with and one without garden vertical garden, the dimensions of the cabins are: length 3.25 m, width 1.75 height 2m front, the rear of the cabins 2.70 m with zinc roof, ceiling, windows of a 1 square meter wooden doors. For the determination of the plants it was taken as reference plants studied and recommended by NASA to purify indoor air, which are: the first prototype of vertical garden of ferns (*Nephrolepis exaltata*) in the second prototype Association plants such as four species: Ferns (*Nephrolepis exaltata*), Cintas (*Chlorophytum comosum*), Ivy (*Hedera helix*) and Sword of St. George (*Sansevieria trifasciata*).

Registration of environmental conditions was performed with the Questem p 34, equipment for 5 days for a cabin volume of 15,35m³ and an area of 4 m² of garden, these are the wet bulb temperature ($T_{bh}^{\circ} C$), dry bulb temperature ($T_{bs}^{\circ} C$), globe temperature ($T_g^{\circ} C$), relative humidity (% RH), the global wet bulb temperature indoor ($TGBHi^{\circ} C$) and air velocity (v_m / s) and in the cabins test with prototype prototype without vertical garden in natural and forced convection.

According to statistical analysis Pearson correlation concludes that with the implementation of the prototype of vertical garden plant association have changes in temperature and humidity conditions indoors in natural and forced convection.

It is recommended to use passive gardens built with ferns or several plants but with forced convection to allow adequate air circulation, reducing the effect of heat, producing oxygen and providing a better working environment aesthetics.

Key words:

Temperature and humidity conditions, indoors, plant association, global temperature wet bulb indoor, natural and forced convection, liabilities gardens.

CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN

1.1 Situación Problemática

Hoyano, A. (1998), señala que, la humanidad enfrenta los efectos del Cambio Climático, proceso meteorológico que se presenta como un problema global y se manifiesta con mayor intensidad en los países en desarrollo, atribuido directa o indirectamente a la actividades humanas, producto de procesos negativos de desarrollo desde el punto de vista ecológico y social, el mal uso y sobre explotación de los recursos naturales, causando la alteración de la composición de la atmósfera mundial que repercute en la variabilidad del clima. Dando como resultado el deterioro del ambiente y el aumento de la vulnerabilidad de los ecosistemas naturales y de la misma humanidad frente a las posibles afectaciones adversas.

Neufer, Peter, Neff & Ludwin, (2009), manifiestan que la sociedad actual se encuentra inmersa en un torbellino de avances científico-técnicos que está afectando a la actividad diaria, y de manera muy particular al ámbito del trabajo.

Dichos avances están provocando un efecto contrapuesto, por un lado han ayudado a eliminar o minimizar los riesgos laborales a los que se exponían los trabajadores en épocas pretéritas; y sin embargo, al mismo tiempo, ha traído consigo la aparición de nuevos factores de riesgo en el medio laboral.

Hoy en día, preservar la seguridad y la salud de quienes trabajan se ha convertido en un objetivo prioritario para las instituciones europeas y nacionales. No en balde las mejoras logradas en la calidad de vida se han visto empañadas por unas

estadísticas que denotan que no hemos sabido controlar con eficiencia los factores de riesgo que provocan los accidentes de trabajo y las enfermedades profesionales. (Neufer, Peter, Neff & Ludwin, 2009)

La cantidad de posibles contaminantes es grande debido a que pueden tener muy diversos orígenes. Los propios habitantes del edificio pueden ser una de las fuentes más importantes ya que el ser humano produce de forma natural dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua, partículas y aerosoles biológicos, siendo a la vez responsable de la presencia de otros contaminantes entre los que destaca el humo de tabaco que en sí contiene más de 3000 compuestos, entre ellos, monóxido de carbono (CO), aldehídos, óxidos de nitrógeno, metales, etc. (Geeter, K. & Rowe, B. 2008)

La Vigilancia de la Salud es una actividad preventiva, cuya responsabilidad recae en la Enfermería y la Medicina del Trabajo. Consiste en evaluar la salud de los trabajadores en relación con su actividad laboral y con los riesgos que entraña su puesto de trabajo. Para llevar a cabo esa evaluación de la salud de los trabajadores se han de conocer las características de los puestos de trabajo, los riesgos que pueden suponer para el trabajador y se realizan un reconocimiento médico según unos protocolos de vigilancia de la salud específicos elaborados para tal fin por el Ministerio de Sanidad y Consumo o por los Servicios de Prevención de las distintas empresas.

Los protocolos más comunes entre ellos son: manipulación manual de cargas, posturas forzadas, movimientos repetitivos, neuropatías por presión, ruido, vibraciones, dermatosis... (Neufer, Peter, Neff & Ludwin, 2009)

A la vista de los distintos puestos de trabajo, nos planteamos que existen trabajos cuya exposición a temperaturas extremas puede suponer un riesgo para la salud del

trabajador y que no sabemos hasta qué punto estamos valorando y evaluando esta circunstancia. (Cortez, 2002).

Pensando en la repercusión que puede tener trabajar a temperaturas extremas para el trabajador agrícola, que soporta temperaturas bajo cero en el invierno durante las labores de poda de los viñedos y temperaturas muy altas durante el verano mientras recolecta algunos productos del campo propios de esos meses calurosos. (Garabito, 2009)

Pensemos que ocurre con los trabajadores de la construcción que soportan asimismo temperaturas extremas de frío o calor según la época del año en que se encuentren trabajando en la construcción de un edificio. (Garabito, 2009)

Que ocurre con el trabajador de obra pública que soporta en la carretera los 40° C de los días de julio o agosto con el agravante del asfalto caliente sin posibilidad de sombra alguna.

Con los trabajadores que entran en las cámaras frigoríficas a -25°C para introducir o extraer las bolsas de verduras con las que elaboramos nuestra comida.

Nos hemos parado a pensar en el trabajador que barre nuestras calles o recoge nuestras basuras a temperaturas poco apetecibles y la repercusión que su trabajo puede suponer para su salud. (Garabito, 2009).

Nos hemos planteado acaso cuando vamos a comer a un asador, como soporta el trabajador que nos prepara un estupendo chuletón a la brasa, el calor que desprende su fogón. (Cortez, 2002).

Pues bien, este es el motivo de la investigación.

1.2 Formulación del Problema.

1.2.1 Problema General

¿En qué medida la construcción del jardín vertical en presencia y ausencia de convección forzada se relaciona con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados?

1.2.2 Problemas Específicos

- a) ¿De qué manera la construcción del jardín vertical con un solo tipo de plantas (básico) en presencia de convección natural se relaciona con el confort termohigrométrico, en ambientes cerrados?
- b) ¿De qué manera la construcción del jardín vertical con tres tipos de plantas (convencional) en presencia de convección natural se relaciona con el confort termohigrométrico, en ambientes cerrados?
- c) ¿De qué manera la construcción del jardín vertical con un solo tipo de plantas (básico) en presencia de convección forzada se relaciona con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados?
- d) ¿De qué manera la construcción del jardín vertical con cuatro tipos de plantas (convencional) en presencia de convección forzada se relaciona con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados?

1.3 Justificación

1.3.1 *Justificación teórica.*

Donnelly, Marian (1992), señala que la vegetación, tiene una interesante influencia en la arquitectura por su capacidad para transformarla, la interacción estética de la vegetación mediante su juego de luz y sombra, calor, sonido y olores tiene una sólida tradición en la arquitectura. Por otro lado también está su intervención más funcional, esto es debido principalmente a sus excelentes cualidades aislantes resultante de la combinación de plantas y una capa de tierra, que en climas fríos retienen el calor dentro del edificio, y en climas cálidos ayudan a mantener el calor fuera.

Chiene Shepherd, J. & Jellicoe, G. (1966), manifiesta que en el renacimiento, el descubrimiento de los clásicos modelos romanos como Vitrubio, por parte los arquitectos y artistas en general, inspiró el uso de la vegetación en la arquitectura, subordinado en muchos casos las construcciones a los principios y los simbolismos del arte de jardinería.

F. L. Wright, utiliza jardines en las cubiertas y jardines verticales en obras como los jardines de Hidway en Chicago, la Ennis House o la Robie Residence, por citar unas cuantas. Tanto las cubiertas verdes, como las fachadas vegetales, son secuencia de la filosofía de la Prairie School, que hace hincapié en la integración del edificio

en el paisaje y que Wright aplicaría en numerosos proyectos. (Hoffman, David 1995).

1.3.2 Justificación práctica.

En el Ecuador existe las normativas de seguridad y salud en el trabajo en las mismas tenemos el decreto ejecutivo 2393 de la Dirección del Seguro General de Riesgos de Trabajo y en el Capítulo V MEDIO AMBIENTE Y RIESGOS LABORALES POR FACTORES FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS.

Estas Normativas manifiestan lo siguiente:

Art. 53.- CONDICIONES GENERALES AMBIENTALES: VENTILACIÓN, TEMPERATURA Y HUMEDAD.

1. En los locales de trabajo y sus anexos se procurará mantener, por medios naturales o artificiales, condiciones atmosféricas que aseguren un ambiente cómodo y saludable para los trabajadores.

2. En los locales de trabajo cerrados el suministro de aire fresco y limpio por hora y trabajador será por lo menos de 30 metros cúbicos, salvo que se efectúe una renovación total del aire no inferior a 6 veces por hora.

3. La circulación de aire en locales cerrados se procurará acondicionar de modo que los trabajadores no estén expuestos a corrientes molestas y que la velocidad no sea superior a 15 metros por minuto a temperatura normal, ni de 45 metros por minuto en ambientes calurosos.

4. En los procesos industriales donde existan o se liberen contaminantes físicos, químicos o biológicos, la prevención de riesgos para la salud se realizará evitando en

primer lugar su generación, su emisión en segundo lugar, y como tercera acción su transmisión, y solo cuando resultaren técnicamente imposibles las acciones precedentes, se utilizarán los medios de protección personal, o la exposición limitada a los efectos del contaminante.

5. Se fijan como límites normales de temperatura grados C (sic) de bulbo seco y húmedo aquellas que en el gráfico de confort térmico indiquen una sensación confortable; se deberá condicionar los locales de trabajo dentro de tales límites, siempre que el proceso de fabricación y demás condiciones lo permitan.

6. En los centros de trabajo expuestos a altas y bajas temperaturas se procurará evitar las variaciones bruscas.

7. En los trabajos que se realicen en locales cerrados con exceso de frío o calor se limitará la permanencia de los operarios estableciendo los turnos adecuados.

8. Las instalaciones generadoras de calor o frío, se situarán siempre que el proceso lo permita con la debida separación de los locales de trabajo, para evitar en ellos peligros de incendio o explosión, desprendimiento de gases nocivos y radiaciones directas de calor, frío y corrientes de aire perjudiciales para la salud de los trabajadores.

9. Nota: Numeral derogado por Decreto Ejecutivo No. 4217, publicado en Registro Oficial 997 de 10 de Agosto de 1988.

Nota: Artículo reformado por Decreto Ejecutivo No. 4217, publicado en Registro Oficial 997 de 10 de Agosto de 1988.

Art. 54.- CALOR.

1. En aquellos ambientes de trabajo donde por sus instalaciones o procesos se origine calor, se procurará evitar el superar los valores máximos establecidos en el numeral 5 del artículo anterior.

2. Cuando se superen dichos valores por el proceso tecnológico, o circunstancias

ambientales, se recomienda uno de los métodos de protección según el caso:

a) Aislamiento de la fuente con materiales aislantes de características técnicas apropiadas para reducir el efecto calorífico.

b) Apantallamiento de la fuente instalando entre dicha fuente y el trabajador pantallas de materiales reflectantes y absorbentes del calor según los casos, o cortinas de aire no incidentes sobre el trabajador.

Si la visibilidad de la operación no puede ser interrumpida serán provistas ventanas de observación con vidrios especiales, reflectantes de calor.

c) Alejamiento de los puestos de trabajo cuando ello fuese posible.

d) Cabinas de aire acondicionado.

e) Se regularán los períodos de actividad, de conformidad al (TGBH o WBGT), índice de temperatura de Globo y Bulbo Húmedo, cargas de trabajo (liviana, moderada, pesada), conforme a la Tabla 1:

Tabla 1. Normativa de carga laboral

TIPO DE TRABAJO	LIVIANA Inferior a 200 Kcal/hora	MODERADA De 200 a 350 Kcal/hora	PESADA Igual o mayor a 350 Kcal/hora
Trabajo continuo 75% trabajo	TGBH=30.0	TGBH=26.7	TGBH=25.0
25% descanso cada hora	TGBH=30.6	TGBH=28.0	TGBH=25.9
50% trabajo, 50% descanso, cada hora	TGBH=31.4	TGBH=29.4	TGBH=27.9

25% trabajo, 75% descanso, cada hora	TGBH=32.2	TGBH=31.1	TGBH=30.0
---	-----------	-----------	-----------

Fuente. Decreto Ejecutivo No. 4217, publicado en Registro Oficial 997 de 10 de Agosto de 1988. (TGBH=WBGT=Temperatura global de bulbo húmedo)

Nota: Literal e) Reformado por el Artículo 29 del Decreto

El hombre sólo puede vivir en una atmósfera cuyas características se encuentren dentro de límites restringidos. El aire en los lugares de trabajo deberá cumplir con los siguientes requisitos: (Cortez, 2002)

La calidad microbiológica del aire en espacios interiores tiene gran importancia para la salud de las personas que en ellos habitan, en especial en áreas de oficinas donde los empleados están expuestos a estos ambientes hasta 12 horas al día o incluso por mayores períodos de tiempo.

El contenido de oxígeno no deberá ser inferior al 18 - 19 % en volumen establecido en las diferentes normativas. (MONDELO, 2001)

Las concentraciones de los contaminantes en el aire deben ser inferiores a los límites admisibles establecidos en el Anexo III – Introducción a las Sustancias Químicas – del Decreto 351 / 79 y sus modificatorias, reglamentario de la ley N° 19587 – de Higiene y Seguridad en el Trabajo.

La ventilación aplicada a las viviendas, oficinas y locales de uso público, tienen como objetivo la creación de condiciones de bienestar y la eliminación de olores y bacterias, la ventilación industrial se ocupa del control de la enorme variedad de sustancias que pueden contaminar al aire en los locales de trabajo y que se originan en procesos productivos como, asimismo, se utiliza para evacuar el calor que pueden generar dichos procesos.

1.4. Objetivos de la Investigación.

1.4.1 Objetivo General.

Determinar la relación entre la construcción del jardín vertical en presencia y ausencia de convección forzada y el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- a) Analizar la relación entre la construcción del jardín vertical con un solo tipo de plantas (básico) en presencia de convección natural y el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.
- b) Analizar la relación entre la construcción jardín vertical con tres tipos de plantas (convencional) en presencia de convección natural y el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.
- c) Analizar la relación entre la construcción del jardín vertical con un solo tipo de plantas (básico) en presencia de convección forzada y el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.
- d) Analizar la relación entre la construcción del jardín vertical con tres tipos de plantas (convencional) en presencia de convección forzada y el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Filosófico o epistemológico de la investigación.

La investigación realizada se basa en la Escuela Positivista Lógica debido a que se sustenta en la teoría y en la práctica a través del método, esta escuela tiene como representante a Betrand Russell (1950).

Orozco (2014), indica que en el siglo XVII se separa la filosofía y por otro lado la ciencia. La ciencia moderna (metódica) nace con Galileo Galilei y Descartes en su intento por fundamentar la ciencia descubre que el yo es capaz de soñar, pensar y dudar y descubre cosas como espíritu y materia. Espíritu (deseo), de esto se ocupa la filosofía, el arte y la religión. Materia (cuerpo) que encaja con la ciencia, esta comprensión de la materia que es cuantificable y medible.

La Administración moderna de la seguridad es una filosofía desarrollada por Frank E. Bird Jr. (1921-2007), representa esta disciplina administrativa una nueva manera de conceptualizar la seguridad, tanto así que puede considerarse una seguridad antes y después de Bird.

La revisión de los fundamentos de la administración moderna de la seguridad industrial y control de pérdidas permite entender que la filosofía es un aliado que le confiere a la seguridad industrial un significativo potencial desarrollo. En el modelo de la causalidad de pérdidas del ILCI (International Loss Control Institute), puede observarse desde el control administrativo, pasando por las causas básicas, hasta llegar a las causas inmediatas, considerando inclusive los incidentes y las pérdidas, que en todas estas instancias son posibles y necesarias aplicar con fundamento filosófico.

Es interesante conocer que Sigmund Freud, padre del psicoanálisis, es el representante de la primera escuela vienesa de psicoterapia; creador de psicología individual. Cada uno de los aportes de los exponentes de estas escuelas psicoterapéuticas es importante en el desarrollo del pensamiento psicológico. Sin embargo, no puede aquí dejar de reconocerse que fue Frankl, representante de la tercera escuela vienesa de psicoterapia, el que puso de relieve el valor del espíritu humano.

Victor E. Frankl desarrolló en sus ideas una visión del ser humano enriquecedora por cuanto consideró el valor del espíritu humano, la importancia del sentido de la vida y la voluntad de sentido.

2.2 Antecedentes de investigación.

2.2.1 Estudios sobre Jardines verticales.

Donnelly, Marian (1992), manifiesta que un jardín vertical no es sólo un elemento estético utilizado en el interior o exterior de una vivienda.

Un jardín vertical lleva asociado unas plantas, compromiso con el medio ambiente, con la calidad del aire que respiramos, y así como un posicionamiento de nuestra actitud frente a problemas tan graves como el cambio climático, los problemas de salud, etc. (Donnelly. M.1992).

Los jardines verticales son muros vegetales que pueden ser utilizados en distintas construcciones tanto interiores como exteriores y surgen como un nuevo concepto que reverdece paredes maximizando el uso del bien más escaso en la ciudad que es el espacio.

Los jardines verticales conocidos como **Muros Verdes** o **Muros Vivos**, son una alternativa para reverdecer las ciudades. Consisten en el cubrimiento de una superficie vertical con plantas ornamentales o comestibles. Nos ayudan a usar espacio de lo contrario desperdiciado, creando un gran impacto visual y ambiental aumentando el valor del inmueble. Actúan como aislantes térmicos y acústicos, mientras purifican el aire de toxinas y tienen efectos psicológicos positivos comprobados.

Los **Jardines Verticales** pueden tener un sistema de riego automatizado o regarse manualmente, siendo la mejor alternativa para cualquier proyecto en cualquier ciudad.

Estudios pioneros realizados por A. Hoyano demuestran, que la transmisión de energía calorífica a través de un muro de hormigón, es significativamente inferior si está cubierto exteriormente, por una capa de vegetación. (Hoyano. A. 1998).

A través de la evotranspiración, grandes cantidades de radiación solar se convierte en calor latente que no provoca un aumento de temperatura. Una fachada totalmente cubierta de vegetación, puede proteger de la intensa radiación solar en verano ya que las hojas pueden reflejar o absorber entre 40% y el 80% de la radiación recibida, dependiendo de la cantidad y el tipo de vegetación. (Ministry of Economy Baden-Wuerttemberg, 2008).

En África, se ha observado una reducción en las temperaturas de 2,6°C, detrás de paneles vegetales. (Holm. D. 1989).

Estudios realizados en Canadá señalan que con el efecto de aislamiento de vegetación las variaciones de temperatura en la superficie de la pared se puede reducir de entre 10°C y 60°C si existe sustrato y entre 5°C y 50°C si se trata de plantas trepadoras. (Kontoleon, K. & Eumorfoulou E.; 2010).

Un estudio de la Universidad de Brighton en Inglaterra, que analiza el comportamiento térmico del edificio con plantas en la fachada de doble piel, muestran que la temperatura que alcanzan las diferentes capas de una fachada de doble piel, son generalmente inferiores, que se utilizan plantas con el espacio interior entre la doble piel, en lugar de persianas de lamas metálicas colocadas por el interior del edificio. Además este estudio muestra que la temperatura de la planta nunca superó los 35°C de

temperatura, cuando las persianas llegaron a superar los 55°C. (Stec, W. J. & Van Paassen, & Maziarz, A. 2005).

Según un estudio realizado en Rio de Janeiro, la evapotranspiración es uno de los beneficios medioambientales más importantes de las fachadas vegetales en áreas urbanas. Esta influye en la hidrología urbana, en la reducción de las temperaturas de las superficies y en la mejora de la gestión de las escorrentías del agua de lluvia. (Schmidt, M. 2003).

Finalmente, se ha observado que el agua evaporada por los árboles causa un incremento en la humedad absoluta entre 1 a 2 kg de agua por m^3 de aire seco, lo que produce una disminución de la temperatura en torno a la edificación. (Papadakis, G. & Tsamini, P. & Kyristsis, S. 2001, 33).

Neufer, Peter, Neff & Ludwin, (2009) señalan que el jardín vertical, como explicaremos a continuación, plantado con determinadas especies, permite filtrar gran parte de partículas nocivas. Bien es cierto que mucha gente pensará que con un solo m^2 de jardín vertical se puede hacer bien poco, pero llegado a este pensamiento proponemos esta otra pregunta: ¿No es mejor tener 1m^2 de plantas que ayuden a mejorar tu entorno y salud que no un cuadro? (Donnelly. M.1992)

Siempre se ha dicho que el verde es terapéutico. La contemplación de la naturaleza relaja, permite aproximarnos a un tiempo más lento, más natural. Nos purifica mental y físicamente.

¿Por qué no usar de forma inteligente las plantas del jardín vertical dentro de nuestras casas y/o oficinas?

Hace poco se presentó un anteproyecto de varios jardines verticales para unas oficinas en Suiza. Los materiales así como el concepto del proyecto constructivo de las oficinas estaban fuertemente influenciados por el uso de sistemas eficientes a nivel energético (tanto en los procesos como en la explotación de las oficinas), así como a nivel de calidad de materiales, plantas, sistemas, etc. (Donnelly. M.1992)

Se comentó que solamente necesitaba unos jardines verticales para decorar. Con esta información se proyectó, no sólo por un concepto estético sino que basó su proyecto botánico en el uso de plantas de jardín vertical descontaminantes. En un principio parece difícil entender cómo puede haber contaminación en un espacio high-tech donde cada material ha sido escogido ya no por parámetros estéticos y/o económicos, sino por criterios ambientales. Pero una segunda lectura permitió explicar que el proyecto si podía escoger, y por tanto controlar, la contaminación del edificio, pero no los productos o materiales que se añadan a posteriori. (Neufer et al., 2009).

Productos de limpieza, ordenadores, pantallas, productos electrónicos, barnices, mobiliario, colas, fibras de moquetas y muchos otros productos son focos de emisión de contaminantes.

Son contaminantes ‘invisibles’ pero reales. Algunos de estos productos emiten componentes orgánicos volátiles que son causantes, tras mucho tiempo de acumulación en tejidos, de la aparición de alergias, y otros tipos de síntomas que merman nuestra salud.

2.2.2 Estudios sobre parámetros del confort térmico.

El confort térmico es definido por la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), como aquella condición de mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico. Es decir, el punto de equilibrio entre las sensaciones psíquicas y fisiológicas del ser humano y su entorno inmediato, por lo que se considera al confort térmico como un estado mental en el que se involucran variables objetivas y subjetivas entre el cuerpo humano y su contexto. Por su parte, B. Givoni (1998) define al confort térmico como "la ausencia de irritación o malestar térmico".

En cuanto al aspecto psicológico, la manera de percibir el medio ambiente de las personas es influida por la percepción térmica del espacio y los cambios que ocurren en éste, con base en la naturalidad del espacio, la expectativa y experiencia, el tiempo de exposición, el control de la percepción y la estimulación del medio ambiente (Gómez et al., 2007: página 3).

Desde el punto de vista fisiológico, la condición de confort térmico es el estado de equilibrio expresado por el balance térmico el cual representa la pérdida o ganancia de energía del cuerpo humano causada por el proceso químico del metabolismo y el proceso fisiológico de termorregulación en respuesta a los elementos externos del clima –principalmente la radiación, temperatura, humedad y movimiento del aire.

Givoni (1969), definió la sensación térmica como “la percepción del calor o frío del ambiente a partir de la actividad neurálgica originada en los nervios de la piel que actúan como receptores térmicos”. A su vez la percepción de las condiciones atmosféricas se ve afectada por los procesos fisiológicos, el vestuario y la actividad de los individuos.

La explicación operativa del confort térmico se reduce en consecuencia a un estado de equilibrio resultante del balance de las cargas térmicas que se intercambian entre el cuerpo humano y su ambiente inmediato. (Critchfield, 1974).

El efecto de la humedad relativa sobre el confort térmico:

El tema de la humedad relativa y los límites de humedad recomendada por los estándares internacionales es más compleja y ha causado discusiones en los criterios utilizados. Hace falta profundizar más en este tema y hacer estudios sobre los efectos de la humedad sobre la temperatura de confort. En la norma ISO 7730 es recomendado un rango de humedad relativa de 30 – 70%, pero principalmente por motivos de la calidad de aire del interior de un espacio. En la ASHRAE 55-92 es propuesto no un límite inferior, pero si un límite superior de 17° C al punto de rocío de la temperatura (con una proporción de humedad de 12g/kg) como requerimiento para considerar la calidad del aire interior como aceptable. (Berglund, 1998; Fang. et al 1996).

La ASHRAE (ASHRAE Handbook-Fundamentals, 2005) menciona que la determinación de los niveles de humedad de la zona de confort es poco precisa. La baja humedad puede causar que la piel y las superficies mucosas se sequen y que se presenten molestias sobre nariz seca, garganta, ojos y piel, típicamente cuando el punto de rocío es menor a 0° C.

Liviana et al. (1988) encontró que los ojos presentaban cierto disconfort que aumentaba regularmente con el tiempo en ambientes con bajas humedades (punto de rocío < 2° C). Green (1982) encontró que las enfermedades respiratorias y el ausentismo aumentaban en invierno cuando la humedad se reducía y expone que un aumento en la humedad reducía el ausentismo en el invierno.

En cumplimiento con esto y con otras condiciones de discomfort observadas la ASHRAE (estándar 55) recomienda que el punto de rocío para los espacios ocupados por individuos no sea menor a 2° C.

En condiciones de altas humedades, el exceso de humedad en la piel tiende a presentar cierta incomodidad y consecuentemente a incrementar el discomfort (Berglund and Cunningham 1986; Gagge 1937), particularmente la humedad en la piel debida a causas mayormente psicológicas (difusión de agua y transpiración). En ambientes con temperaturas altas, la sensación térmica por sí sola no puede ser vista como una variable confiable para establecer las condiciones de confort. (Tanabe et al. 1987). La incomodidad parece ser debido a la sensación de humedad en el cuerpo debido a efectos como la transpiración, aunado el hecho de la fricción de la vestimenta con la piel húmeda (Gwosdow et al. 1986), entre otros factores. Para prevenir esta incomodidad debida a discomfort por altos porcentajes de humedad en el ambiente, Nevins et al. (1975) recomienda que, a altos grados de temperaturas, la humedad no exceda del 60% para mantener a los ocupantes en el rango de la zona de confort.

Para estudios de temperatura el ser humano se modela como un cilindro con cubierta, que corresponde a la piel, los tejidos superficiales y las extremidades, con un núcleo correspondiente a los tejidos más profundos del tronco y la cabeza. Las temperaturas del núcleo presentan un intervalo pequeño alrededor de un valor normal de 37 °C y para intervalos entre 37.8 °C y 38.9 °C el desempeño cae de forma abrupta. (Cortez 2002)

Para temperaturas superiores a 40.6 °C el mecanismo de sudor puede fallar y causar una elevación rápida del núcleo y con el tiempo la muerte. (Garabito, 2009)

Las capas exteriores del cuerpo pueden variar en un rango mayor sin que se presenten tantos desequilibrios en el organismo. El exterior actúa como un amortiguador para proteger las temperaturas del núcleo. (Garabito, 2009)

El intercambio de calor entre el cuerpo y su entorno se puede representar por la siguiente ecuación de balance de calor: (Garabito, 2009)

$$S = M \pm C \pm R - E \text{ (2.2.2-1)}$$

Dónde:

M = Es el aumento de calor por metabolismo.

C = Aumento de calor (o pérdida) por conducción.

R = Aumento de calor (o pérdida) por radiación.

E = Pérdida de calor a través de la evaporación del sudor.

S = Almacenamiento de calor (o pérdida) del cuerpo.

Para la neutralidad térmica, *S* debe ser cero. Si la suma de varios intercambios de calor a través del cuerpo da como resultado una ganancia de calor, esto representa un aumento de temperatura en el núcleo, que puede generar un problema potencial por calor. (Garabito, 2009)

Temperatura

Propiedad de los sistemas que determina si están en equilibrio térmico. El concepto de temperatura se deriva de la idea de medir el calor o frío relativos y de la observación de que el suministro de calor a un cuerpo conlleva un aumento de su temperatura mientras no se produzca la fusión o ebullición. En el caso de dos cuerpos con

temperaturas diferentes, el calor fluye del más caliente al más frío, hasta que sus temperaturas sean idénticas y se alcance el equilibrio térmico. (Garabito, 2009)

Transferencia de calor

Garbito Julio (2009), manifiesta que el calor tiende a pasar desde los puntos en los que la temperatura es alta hacia aquellos en los que es inferior.

De acuerdo con los materiales en los cuales se está realizando la transferencia de calor se tienen diferentes procesos como son:

Conducción: Cuando la transferencia de calor se realiza a través de sólidos o fluidos que no están en movimiento,

Convección: Cuando la transferencia se realiza a través de fluidos en movimiento.

Radiación: Cuando el calor es transferido de un cuerpo a otro sin soporte material alguno.

Temperatura ambiente

Es la temperatura experimentada por una persona en un ambiente dado. Esta temperatura es el resultado del intercambio de calor por conducción (a través de pisos o herramientas) y radiación (Muros, plafones, sol). (Garabito, 2009)

Temperatura efectiva

Es un índice determinado experimentalmente, que incluye la temperatura, el movimiento del aire y la humedad. El intervalo normal es desde 18.3 °C hasta 22.8 °C, con una humedad relativa de 20% a 60%. (Garabito, 2009)

Humedad.

Medida de concentración de agua o vapor de agua en un sólido, un líquido o un gas. A continuación se presentan los tipos de humedad:

Humedad Absoluta: Es la masa de agua o vapor de agua por unidad de volumen. En el caso del aire se expresa en g/m³. (Garabito, 2009)

Humedad Específica: Es la relación entre la masa de agua o vapor de agua y la masa total. En el caso del aire se expresa en gramos de vapor de agua por kilogramo de aire húmedo. (Garabito, 2009)

Humedad Relativa: Es la relación entre la masa de agua o vapor de agua que existe en un determinado volumen y la cantidad de agua o vapor de agua necesaria para que se sature dicho volumen a la misma temperatura. Se expresa en porcentaje. (Garabito, 2009)

Zona termal comfortable.

Es el intervalo normal de temperatura efectiva. Se recomiendan temperaturas de 18.8 °C y 22.9 °C como límites externos para la regulación termostática. (Garabito, 2009).

Temperatura operativa

Es la temperatura del cuerpo de un trabajador. Se determina por los efectos acumulativos de todas las fuentes y receptores de calor. (Garabito, 2009)

Fatiga por calor.

Se presenta cuando hay un ascenso máximo en la temperatura del cuerpo de un individuo de 1 °C. (Garabito, 2009).

Zona de conformidad térmica


Para el estudio de temperaturas se ha determinado una zona de confort térmico para áreas donde se realiza trabajo ligero y sedentario durante 8 horas. Este intervalo se encuentra a temperaturas entre los 18.9 °C y 26.1 °C, con una humedad relativa de 20% a 80%. (Ver Figura No. 1)

Trabajo = sedentario o de ensamble ligero
70-100 W (60-90 kcal/h),

Velocidad del aire = 0.2 m/s (50 pie/min)

Ropa o vestuario = 0.6 clo calor, 1.25 clo frío

No hay calor radiado

 = Zona termal confortable

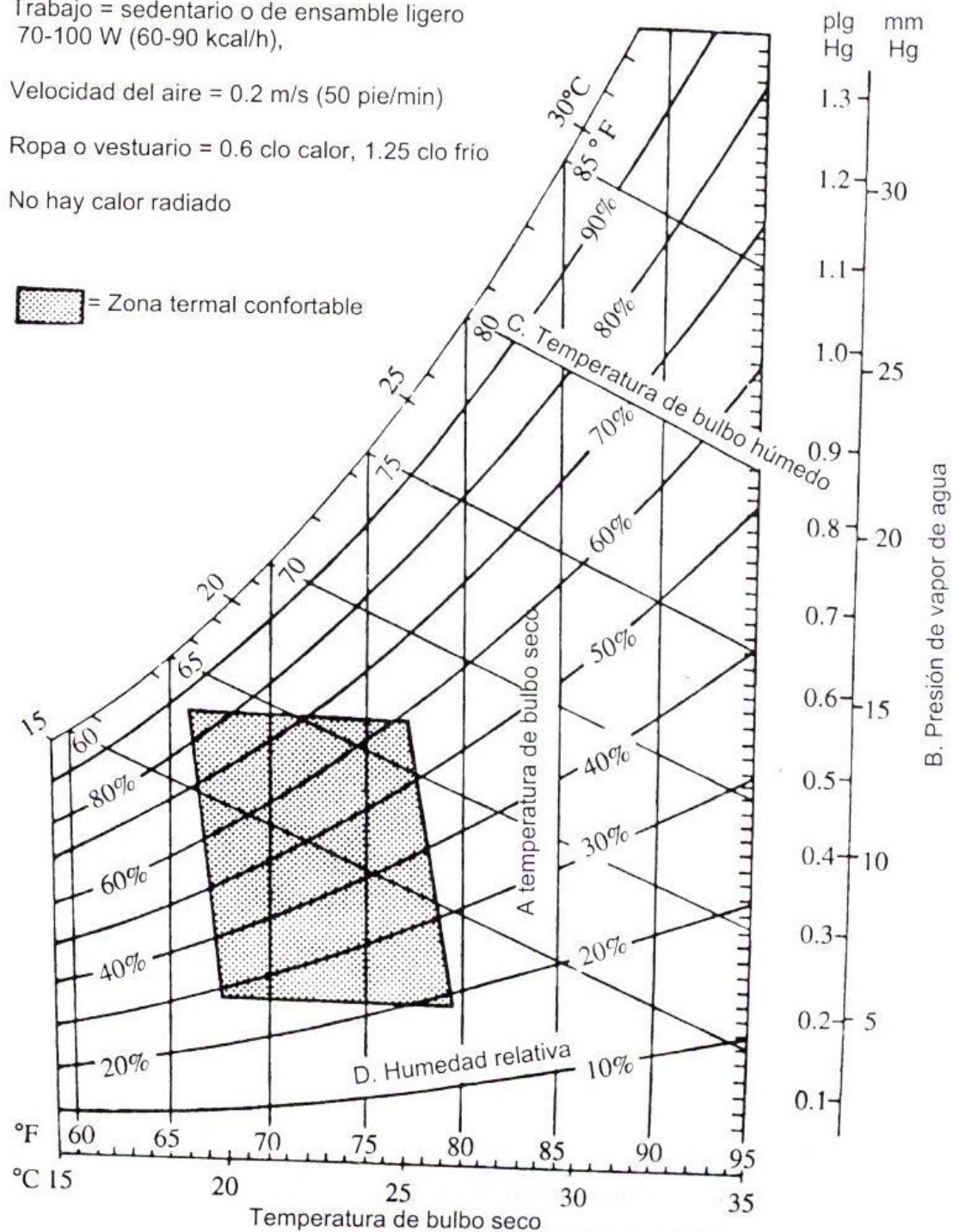


Figura 1. Zona de conformidad térmica.

Fuente: Niebel, Benjamín W. Ingeniería Industrial. Métodos, Tiempos y Movimientos. Novena Edición. Alfaomega. Pág. 274.

Aislamiento requerido para comodidad (clo)

Medida de aislamiento proporcionado por la ropa. Se tiene que 1 CLO es igual a 0.16°C por Watt y por metro cuadrado del área superficial del cuerpo.

Para condiciones en las que el trabajador se encuentra bajo determinado rango de temperaturas se puede utilizar ropa protectora que proporcione equilibrio entre la temperatura, la actividad física y el aislamiento de la ropa.

El grado de aislamiento que ofrece una configuración de ropa o elementos aislantes a determinado trabajo representa el grado de CLO es decir, el CLO es una medida de aislamiento térmico. (Ver Figura No. 2) (Garabito, 2009)

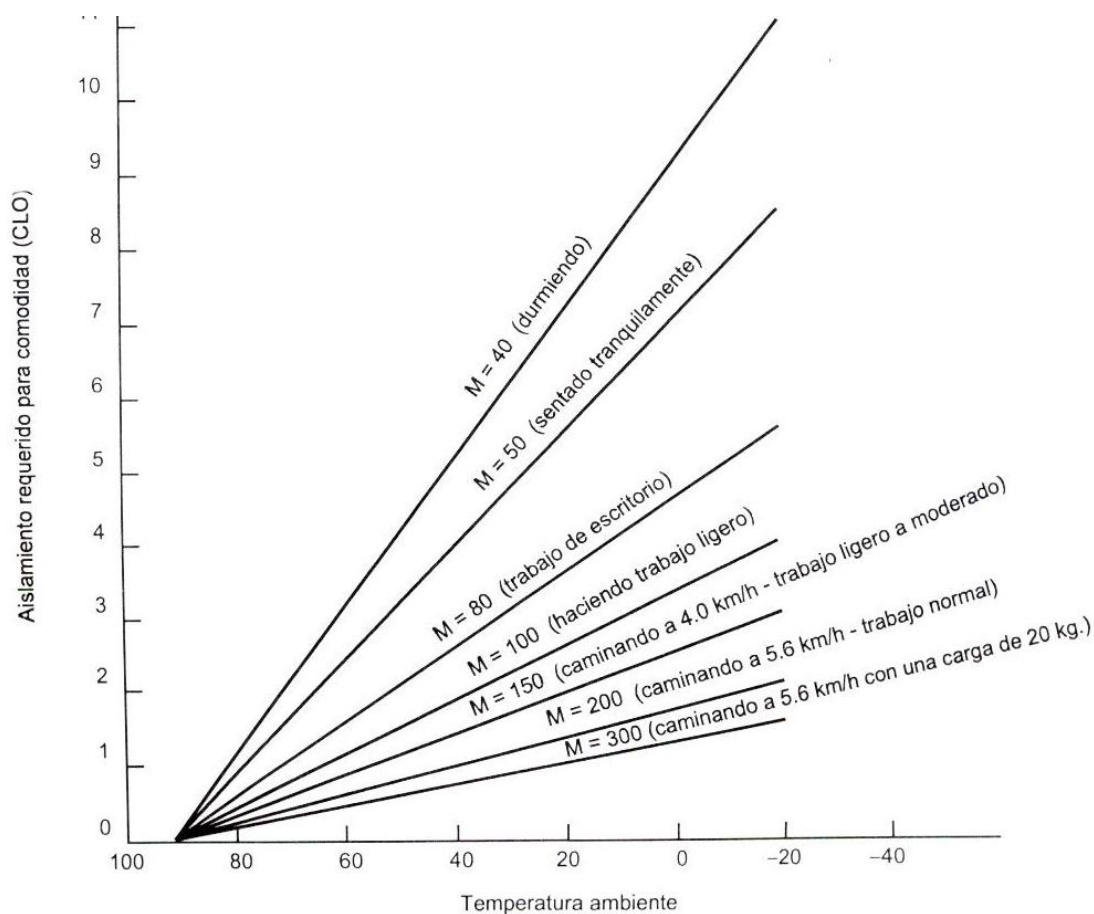


Figura 2. Aislamiento requerido para conformidad.

Fuente: Niebel, Benjamín W. Ingeniería Industrial. Métodos, Tiempos y Movimientos. Novena Edición. Alfaomega. Pág. 278.

Estrés térmico

Es la presión que se ejerce sobre la persona cuando está expuesta a temperaturas extremas.

Estándares de Confort Internacionales:

Actualmente se encuentran disponibles gran cantidad de estudios e investigaciones dedicadas a determinar cuáles son los criterios necesarios para obtener un estado de confort en un ambiente determinado. Esta determinación se deduce en base a una serie de cálculos que han sido elaborados en su mayoría gracias al estudio de las preferencias de sensaciones térmicas de un grupo de personas y su porcentaje de satisfacción o insatisfacción en determinado ambiente, con determinadas características climáticas.

Existe una serie de organizaciones dedicadas al estudio y difusión de tales investigaciones, las cuales mencionan que sus criterios pueden ser aplicados en casi la mayoría de los casos, a reserva de ciertas excepciones. De esta manera sus estándares nacionales presentan cierta influencia e incluso presentan ciertas contribuciones para expandir conocimientos acerca del confort térmico y fomentar a la incursión de nuevos estudios e investigaciones sobre el tema.

Para que los criterios y propuestas de confort puedan ser aplicados de manera internacional, deben ser aprobados y debidamente estudiados por otras organizaciones dedicadas a esto, como la Organización de Normas Internacionales (International Organization for Standardization, ISO- por sus siglas en inglés), la cual fue instaurada en el año de 1947 y cuenta como miembros activos con más de 130 países.

Las normas ISO son desarrolladas por expertos en la materia, miembros de alguno de los diferentes países participantes, quienes entran a consenso y así pasan a votación para evaluar si cumplen con los requerimientos para su aceptación.

De esta manera, una norma sobre confort térmico se evalúa y se apoya de una serie de documentos que permitan demostrar su veracidad, sus criterios de estudio y el alcance de sus aplicaciones. Todas las normas autorizadas son revisadas cada cinco años y, en el caso de la norma ISO 7730, se ha considerado cuales han sido acontecimientos relevantes a partir de su aprobación y cuales han requerido de una nueva revisión. La idea es que las normas internacionales presentadas por la ISO difundan y promuevan los mejores métodos y estudios disponibles internacionalmente, acerca del tema.

Las normas ISO deben ser válidas, confiables y utilizables con alcance suficiente para su uso y aplicación. A continuación se hará una breve descripción de las normas internacionales ISO relativas al tema de confort, su desarrollo y aplicaciones generales.

ISO 7730-Determinación del Voto Medio Previsto –PMV-y el Porcentaje previsto de personas insatisfechas -PPD-, índices y especificaciones de las condiciones de confort térmico.

Esta norma describe el PMV (Voto Medio Previsto) y el PPD (Porcentaje previsto de personas insatisfechas) y establece las condiciones necesarias para considerar aceptable el confort térmico de un espacio. El PMV predice el valor empírico de los votos de un gran número de personas en la escala de sensaciones térmicas de la ISO (+3 = sofocante, +2 = caluroso, +1 = ligeramente caluroso, 0 = neutral, -1 = ligeramente fresco, -2 = fresco, -3 = frío). El PPD predice el porcentaje de un gran grupo de personas que presentan sensación de “muy caluroso” o “muy frío”. Esta norma es

aplicada a personas en actividades sedentarias con vestimentas ligeras y con una sensación general en el cuerpo muy cercana al voto neutro. Esta norma considera variables climáticas como la temperatura del aire, la velocidad del viento y el grado o intensidad de turbulencia presentado en el momento de realizar el estudio.

ISO 8896-Ergonomía, determinación de la producción metabólica de calor.

Esta norma describe seis métodos para determinar la producción metabólica de calor, la cual es un requerimiento esencial para el buen uso de la norma ISO 7730, y la evaluación del confort térmico. Los métodos están divididos en tres niveles, de acuerdo al grado de exactitud requerida. El nivel 1 presenta una tabla que nos permite estimar los niveles de la tasa metabólica (asumido de la misma manera que la producción metabólica de calor) para diferentes tipos de actividad. Los resultados son solo aproximados, por lo que el margen de error es alto. El segundo nivel presenta tablas para estimar los niveles metabólicos basados en la evaluación de la actividad específica realizada. Este método puede presentar un margen de error de aproximadamente 15%. La medida más exacta (\pm el 5 %), es un método de estimación de la tasa metabólica por medio del análisis del aire expirado por los pulmones (calorimetría indirecta).

ISO 9920- Ergonomía del entorno ambiental. Estimación del aislamiento térmico y resistencia evaporativa de un conjunto de ropa.

La norma ISO 9920 proporciona una serie de datos sobre las propiedades térmicas de la ropa. Las propiedades térmicas están basadas en mediciones realizadas en maniqués con cierta cantidad de calor implementada, donde el aislamiento térmico básico (o intrínseco) es medido, así como la permeabilidad de vapor en base a las propiedades de las prendas de vestir usadas. Por lo tanto, la mayor cuestión acerca de la

validez de esta norma es si las mediciones de los maniqués representan realmente las propiedades reales de las vestimentas de las personas, considerando el desgaste y uso individual. Además, que se considera que no está bien analizada la influencia del aire que penetra en la vestimenta debido al dinamismo o movimiento, por lo que se considera que no está cuantificada a detalle. El ámbito de aplicación de la norma excluye los efectos de la absorción de agua, la comodidad de los diferentes textiles, la lluvia, la nieve, y ciertas características especiales que pueda tener la ropa, como la ropa térmica, por ejemplo.

Es importante tener cierta visión de la precisión con que esta norma puede predecir las propiedades de aislamiento de la ropa. Si asumimos alrededor de un $\pm 15\%$ de precisión, combinado con la tasa metabólica (precisión de $\pm 15\%$), los resultados de la tabla siguiente muestran como los índices PMV-PPD pueden variar para una postura sentada en reposo con un traje de negocios, y la intensidad de luz proyectada en el traje. Puede observarse que las predicciones de discomfort varían entre la exactitud de la tasa metabólica y la cantidad de aislamiento de la ropa estimada. (Tabla 2).

Tabla 2. La influencia de la precisión en la estimación de la tasa metabólica y aislamiento de prendas de vestir en valores PMV y el PPD.

$t_a = t_r = 24\text{ }^{\circ}\text{C}; P_a = 1000\text{ Pa}; v = 0.15\text{ ms}^{-1}$			
M	Clo	PMV	PPD
Wm^{-2}	$\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C W}^{-1}$		%
50	0.130	-1.0	27.7
58	0.155	0.0	5.0
66	0.180	0.4	8.8
85	0.130	0.5	10.5
100	0.155	0.9	22.6
115	0.180	1.2	36.4

ISO TC 159 SC5 -Ergonomía del medio físico: resumen de trabajo.

La norma SC5 de TC159 de ISO produce normas internacionales en el área de la ergonomía del entorno físico. Como esta norma tiene un amplio alcance y sus normas son establecidas en otras áreas de estandarización ergonómicas, esta norma ha sido confinada a entornos térmicos como la iluminación, señales de peligro y comunicaciones en entornos peligrosos.

ISO 7726- Entornos térmicos, instrumentos y métodos de medición para magnitudes físicas.

La norma ISO 7726 proporciona una serie de especificaciones para los instrumentos con los cuales se puede medir las variables térmicas del ambiente. Las variables medioambientales son utilizadas para evaluar el nivel de confort. (Por ejemplo, la norma ISO 7730). Se proporciona la precisión necesaria para hacer las mediciones así como el tiempo de respuesta y funcionamiento de los instrumentos de medición. La descripción de los instrumentos, los requerimientos de medición y las precauciones necesarias a tomas antes de las mediciones también son introducidos. Naturalmente, la exactitud de las medidas medioambientales así como las cuestiones prácticas de dónde y cuándo se debe medir el entorno contribuirá a la eficacia de cualquier evaluación de confort térmico.

ISO 10551- Ergonomía del ambiente térmico: evaluación de la influencia del medio ambiente térmico mediante escalas de juicios subjetivos.

Esta norma menciona que, si el confort térmico es en gran medida un fenómeno psicológico, entonces su evaluación sería más precisa si se utilizaran juicios subjetivos. Sugiere que se pueden implementar medidas de evaluación subjetivas para analizar el

confort térmico, si se cuenta con el apoyo de un grupo de personas interesadas en participar.

En este caso, la norma ISO 10551 presenta una metodología amplia y detallada de como desarrollar escalas subjetivas para el análisis del confort. Presenta cinco tipos de escalas: perceptivas, afectivas, preferenciales, aceptables y tolerables.

ISO TS 13732- Métodos para la evaluación de la respuesta humana a ponerse en contacto con superficies - parte 2: contacto humano con superficies a temperatura moderada.

Esta norma menciona que cuando la piel entra en contacto con superficies sólidas, a moderada temperatura, (entre un rango de 10 a 40%) la gente sentirá una sensación que pasará de caliente a frío, lo cual influirá en la sensación de confort. La norma ISO TS 13732 parte 2, presenta una serie de especificaciones técnicas con principios y métodos para predecir la sensación térmica y el grado de disconfort de las personas, en base a las partes del cuerpo que entran en contacto con superficies sólidas a temperaturas moderadas. Respuestas del contacto directo de estas superficies con los pies y las manos son especialmente analizadas.

ISO 14505- Parte 1 de 4: Ergonomía del ambiente térmico: el confort térmico en los vehículos.

Esta norma aún se encuentra en desarrollo y analiza básicamente las condiciones de confort en los vehículos. La parte 1 presenta los principios, métodos y consideraciones para la aplicación de otras normas de confort térmico para los vehículos. La parte 2 habla acerca de la determinación del índice de temperatura equivalente para un índice apropiado de confort térmico en vehículos. La parte 3 detalla el uso de

maniqués para evaluar los requerimientos de confort de un individuo y la parte 4 habla acerca de la participación de los individuos para evaluar el confort térmico de los vehículos.

ISO 14415: Ergonomía del ambiente térmico: la aplicación de Normas internacionales para las personas con necesidades especiales.

Esta norma también se encuentra en desarrollo y considera los requerimientos de confort térmico para personas con discapacidades, mujeres embarazadas, enfermas, adultos mayores y otras personas con requerimientos especiales. Considera los efectos del deterioro sensorial, la forma del cuerpo, la secreción de sudor, la tasa metabólica. Se consideran entornos calientes, moderados y fríos, así como la aplicación de las normas internacionales.

A continuación se enlista una serie de normas que han sido publicadas y que se encuentran en desarrollo:

ISO 7243:1995-Ambientes cálidos: estimación del estrés térmico de un hombre laborando. Basado en el índice WBGT (Temperatura de bulbo húmedo –de globo).

ISO 7726:1998-ambientes térmicos: instrumentos y métodos de medición para cantidades físicas.

ISO 7730:1994-Ambientes térmicos moderados: determinación del PMV y el PPD, índices y especificaciones de las condiciones de confort térmico.

ISO 7731:1986-Señales peligrosas para espacios de trabajo: auditorios.

ISO 7933:1989-Ambientes cálidos: Determinación analítica e interpretación del estrés térmico usando un cálculo del sudor requerido.

ISO 8995:1989-Principios de la ergonomía visual. La iluminación de sistemas de trabajo en interiores.

ISO 8996:1990-Ergonomía: determinación de la producción de calor metabólico.

ISO 9886:1992-Evaluación de la tensión térmica por mediciones fisiológicas.

ISO 9920:1995-Ergonomía del ambiente térmico: Estimación de la insolación térmica y resistencia evaporativa de un conjunto de ropa.

ISO 10551:1995-Ergonomía del ambiente térmico: evaluación de la influencia del medio ambiente térmico mediante escalas de juicios subjetivos.

ISO 11399: 1995-Ergonomía del ambiente térmico: -principios y aplicaciones de las normas internacionales.

ISO 9921-1:1996-Evaluación ergonómica de comunicación de voz. Parte 1: Distancias de nivel y de la comunicación de interferencia e intervención para las personas con capacidad normal de audición en comunicación directa (método SIL).

ISO 11428: 1994-Ergonomía: señales visuales de peligro: requerimientos generales, diseño y pruebas.

ISO 11429: 1994-Ergonomía: sistemas de señales de peligro y no-peligro con sonido y luz.

Desafortunadamente, la mayoría de estos estudios no responden a las necesidades de los usuarios de nuestro contexto directo (la conurbación Colima-Villa de Álvarez), ya que han sido elaborados con base a los requerimientos de climatización de individuos de países como Estados Unidos y algunos de Europa, países desarrollados y considerados de primer mundo en donde, por ejemplo, las largas horas de actividades laborales se realizan en grandes edificios que tienen métodos de climatización artificial como el aire acondicionado y que con el paso del tiempo, generan cierto grado de dependencia ante el usuario, pero además de esto pueden poner en riesgo su estado de salud física y mental generando que las horas de trabajo sean largas, tediosas y consecuentemente, disminuya la productividad laboral.

Comportamiento del organismo desde un punto de vista térmico

El ser humano mantiene un equilibrio térmico a través de mecanismos reguladores internos que permiten conservar su temperatura basal (del cuerpo) en 37 °C con pequeñas variaciones, de 0,5 °C alrededor de este valor, según los individuos. Las alteraciones a esta temperatura provocan trastornos de tipo fisiológico que, mientras no alcance límites superiores a 39 °C o inferiores a 34 °C, no implican trastornos graves a la salud de la persona. (Garabito, 2009)

Índices para la evaluación del calor.

Garabito. Julio (2009) manifiesta que, todos los índices tienen como finalidad establecer una relación cuantitativa entre los parámetros de una condición ambiental con relación a una situación referencial límite.

Los índices más utilizados para evaluar el estrés térmico son:

Índices para determinar grados de confort.

Índice de la temperatura efectiva.

Índice de la temperatura efectiva corregida.

Índices PMV, PPD y norma ISO 7730.

Índices para determinar situaciones de riesgo.

Índice WBGT (Temperatura de Globo y Bulbo Húmedo).

Índice de estrés Térmico IST.

En esta investigación, se utilizó el método WBGT, para realizar el estudio de las condiciones térmicas.

Índice WBGT o TGBH (Temperatura Global de Bulbo Húmedo).

Este índice fue establecido por Young y Minard, en los años 50, para la Marina Norteamericana, como método para estudiar el ambiente térmico durante la ejecución de ejercicios y entrenamientos militares. La gran ventaja de este método radica en su sencillez de aplicación: mediciones, cálculos e interpretación. (Garabito, 2009)

El indicador aceptado por la legislación colombiana es el índice TGBH, de acuerdo con lo estipulado en la resolución 2400 de 1979.

Es un índice basado en la combinación de las cargas de calor ambiental y cargas de calor metabólico.

Cargas de Calor Ambiental: Están representadas por los valores de temperatura de bulbo húmedo, temperatura de globo, y la temperatura de bulbo seco, cuando se trabaja bajo exposición solar. (Garabito, 2009)

Calor Metabólico: Es la suma del calor que se produce en el cuerpo humano debido a la acción de las funciones vegetativas tales como digestión, respiración, circulación sanguínea etc; más el calor producido por las funciones físicas que se estén realizando de acuerdo al trabajo efectuado, o labor que este desempeñando el trabajador. (Garabito, 2009)

Estimación del índice TGBH.

Este indicador consiste en la ponderación fraccionada de las temperaturas húmedas, de globo y a veces temperaturas secas. Las principales fórmulas que lo definen son:

En Exteriores (con exposición solar)

$$\text{TGBH} = 0.7 \cdot \text{TBH} + 0.2 \cdot \text{TG} + 0.1 \cdot \text{TBS} \text{ (}^\circ\text{C)} \text{ (2.2.2-2)}$$

En Interiores (sin exposición solar - a la sombra)

$$\text{TGBH} = 0.7 \cdot \text{TBH} + 0.3 \cdot \text{TG} \text{ (}^\circ\text{C)} \text{ (2.2.2-3)}$$

Siendo:

TBS (Temperatura de bulbo seco o de referencia °C): Es la temperatura indicada por un termómetro de mercurio cuyo bulbo se ha apantallado de la radiación por algún medio que no restrinja la circulación natural del aire a su alrededor.

Es la temperatura tomada con el termómetro convencional para tener un parámetro de comparación frente a las otras dos. Tiene importancia cuando las mediciones se realizan en exteriores con carga solar. (Garabito, 2009)

El sensor debe tener las siguientes características:

Forma cilíndrica.

Diámetro externo de $6\text{mm} \pm 1 \text{ mm}$.

Longitud 30mm \pm 5mm.

Rango de medida 5 °C a 40 °C.

Precisión \pm 0,5 °C.

El soporte del sensor debe tener un diámetro de 6mm, y parte de él (20 mm) debe estar cubierto por un tejido, para reducir el calor transmitido por conducción desde el soporte al sensor.

El tejido debe formar una manga que ajuste sobre el sensor. No debe estar demasiado apretado ni demasiado holgado.

El tejido debe mantenerse limpio.

TBH (Temperatura Húmeda °C): Es la temperatura indicada por un termómetro de mercurio cuyo bulbo se encuentra recubierto por una muselina empapada de agua, ventilado únicamente de forma natural y no apantallado de las fuentes de radiación.

Esta es la temperatura que parte de evaluar la velocidad aproximada a la que el trabajador esta perdiendo agua a causa de su exposición al calor. (Garabito, 2009)

TG (Temperatura de globo °C): Es la temperatura indicada por un termómetro cuyo bulbo se encuentra alojado en el centro de una esfera de cobre hueca, de 15 cm de diámetro y pintada exteriormente de negro mate. (Garabito, 2009)

Es la temperatura a la que se encuentra sometido el trabajador a causa de la radiación (una de las formas en que se transmite el calor) de una fuente de calor que se encuentra cercana a la zona donde este desempeña sus funciones. Este componente es la que indica la temperatura proveniente de la radiación en el sitio de la evaluación.

La esfera debe tener las siguientes características:

150 mm de diámetro.

Coefficiente de emisión medio: 90 (negro y mate).

Grosor: tan delgado como sea posible.

Escala de medición: 20 °C-120 °C.

Precisión: $\pm 0,5$ °C de 20 °C a 50 °C y ± 1 °C de 50 °C a 120 °C.

Limitaciones del método TGBH

La simplicidad del método hace que esté sujeto a ciertas limitaciones, debidas a las obligadas restricciones en algunas variables. Así por ejemplo, la curva límite sólo es de aplicación a individuos cuya vestimenta ofrezca una resistencia térmica aproximada de 0,6 clo., que corresponde a un atuendo veraniego. (Garabito, 2009)

La velocidad del aire: Sólo interviene a partir de cierto valor del consumo metabólico y de forma cualitativa, aumentando 1 ó 2 °C los límites del índice TGBH, cuando existe velocidad de aire en el puesto de trabajo. (Garabito, 2009)

La aclimatación al calor es un proceso de adaptación fisiológica que incrementa la tolerancia a ambientes calurosos, fundamentalmente por variación del flujo de sudor y del ritmo cardíaco. La aclimatación es un proceso necesario, que debe realizarse a lo largo de 6 ó 7 días de trabajo, incrementando poco a poco la exposición al calor. (Garabito, 2009)

Cuando la situación de trabajo no se adapte al campo de aplicación del método, es decir, que la velocidad del aire o el vestido sean muy diferentes de lo indicado, debe recurrirse a métodos más precisos de valoración. (ISO 7243 1989).

Al utilizar el instrumento que existe en el laboratorio de Ergonomía de la ECI, para la toma de temperaturas, es necesario dejar el instrumento durante 20 min, en el lugar donde se esté tomando la medida de temperatura, para lograr que se estabilice el agua destilada, lo cual genera otro de las limitaciones de este método (claro está, con este instrumento en particular, ya que con los instrumentos de alta tecnología, no se tiene que realizar este procedimiento). (Garabito, 2009)

2.3 Bases Teóricas.

2.3.1 Viviendas confortables

The Luxury Journal (2012), manifiesta que los jardines verticales son signos de una arquitectura innovadora. Los sistemas de plantado modernos nos permiten cubrir las fachadas verticales, dan vida a los espacios y rompen con el concepto de que “lo verde va en el suelo”. Dan vida a los edificios y los hacen más ligeros; literalmente, un edificio verde.

Berenguer Subils (2010), Licenciada en Ciencias Químicas del Centro Nacional de condiciones de trabajo manifiesta que la prevención sobre la calidad del aire en los ambientes cerrados se inicia el tratamiento de un problema que no solo afecta a la población laboral, sino también al resto de la comunidad, ya que está demostrado que el hombre urbano pasa entre el 80 y el 90% de su tiempo en ambientes cerrados, contaminados en mayor o menor grado. Este problema se ha visto potenciado desde que una creciente necesidad de ahorro energético ha llevado al diseño de edificios más

herméticos, con una mayor recirculación del aire, y en consecuencia con un posible aumento de la contaminación interior.

Los trabajos iniciales de Humphreys (1978), establecieron varios conceptos importantes que han permitido el desarrollo posterior de los modelos de adaptación.

El primero es el concepto de temperatura de neutralidad, asumida generalmente como temperatura de confort, la cual se obtiene de un análisis de regresión lineal que correlaciona las respuestas dadas por personas en un estudio de campo (subjetivas) y los valores de los parámetros climáticos medidos con instrumentos (objetivos).

El segundo concepto es la dependencia encontrada entre la temperatura media encontrada y la temperatura media exterior. Esta relación es más evidente en los edificios ventilados de manera natural. (Gómez, Bojórquez y Ruiz, 2007). En edificios con mecanismos de climatización artificial, esta relación requiere de estudios más complejos.

Brager y De Dear (1998), realizaron estudios comparativos entre edificios naturalmente ventilados y edificios con uso de calefacción y aire acondicionado, cuyos resultados fueron similares a los demostrados por Humphreys, ellos argumentan que los ocupantes de los edificios ventilados artificialmente tienen diferentes expectativas que los ocupantes de los edificios naturalmente ventilados.

El ASHRAE estándar (62-1989), recomienda una concentración de dióxido de carbono máxima de 1000 ppm para lograr un mínimo confort, en el bien entendido de que esta concentración no representa ningún peligro para la salud.

Mondelo, (2000) señala, dentro de las condiciones de trabajo, la temperatura es un factor determinante en el rendimiento de un trabajador. Temperaturas muy altas o demasiado bajas repercuten en el operador de manera perjudicial, no solo para su labor sino también en su salud.

Trabajos como los presentados por Auliciems y Szokolay (1997) igualmente evalúan reportes de estudios basados en el enfoque adaptativo para diferentes climas y culturas con los que se obtuvo como resultado modelos de aplicación generalizada basados en la temperatura operativa de confort como función de la temperatura exterior promedio.

Las variables climáticas esenciales para el estudio de las percepciones térmicas de un espacio o ambiente térmico son la temperatura del aire, temperatura externa, intensidad de luz, velocidad del viento y humedad relativa, junto con otras variables individuales de los ocupantes como lo son la vestimenta usada y el tipo de actividad que se realiza. Los criterios para establecer un ambiente térmico aceptable o satisfactorio son un requisito indispensable para definir el confort (PMV-PPD o temperatura operativa – aire y temperatura radiante-velocidad del aire y humedad relativa) y el nivel de disconfort térmico local (debido a corrientes de aire, turbulencias, temperatura del aire, diferencias en temperatura vertical del aire o en la temperatura radiante, cambios en la temperatura del suelo, etc.). En este aspecto, el estudio de las variables climáticas se vuelve un elemento básico para la comprensión de las preferencias de sensaciones térmicas de los individuos. Estos criterios han sido presentados por los Estándares Internacionales de Confort, así como por organizaciones como la ASHRAE.

Para la mayoría de estos parámetros ha sido posible establecer relaciones físicas y psicológicas entre la efectividad de los parámetros de confort y el porcentaje de

individuos que encuentran condiciones de confort que no llenan sus expectativas y no las considera aceptables. Los individuos pueden así estar insatisfechos debido a las condiciones de confort térmico locales (PMV, temperatura), o debido a los parámetros de discomfort locales (corrientes de aire, intensidad de luz, temperatura radiante, etc.).

Debido a esto, para estimar estos cálculos, la ASHRAE (estándar 55) ha establecido un criterio correspondiente al 10% de personas insatisfechas con el ambiente térmico, al cual se le incrementa otro 10% por efecto de personas insatisfechas debido al nivel de discomfort local, dejando un nivel total de aceptabilidad del 80% para el estudio de las preferencias de confort. Sin embargo sería apropiado que para el estudio de los requerimientos de confort de un edificio se analizaran los niveles de satisfacción e insatisfacción basándose en lo que pueda ser tecnológicamente posible, económicamente viable y considerando implementar soluciones bioclimáticas que propicien la reducción de energía no renovable, la contaminación al ambiente y las preferencias climáticas de los ocupantes.

El movimiento del aire es uno de los parámetros ambientales a estudiar en esta investigación debido a su relevante importancia en las sensaciones y preferencias de confort para personas habituadas a climas cálidos y adaptados a espacios naturalmente ventilados. La velocidad del aire dentro de un espacio puede generar corrientes de aire que en ocasiones conduce a una sensación de insatisfacción, pero también puede producir comodidad si se presenta en espacios con altas temperaturas y humedades. La ASHRAE Standard 55 y la norma ISO 7730 presentan una ecuación para el estudio de la velocidad del aire:

$$DR = ((34 - T_a) * (v - 0.05)^{0.62}) * (0.37 * v * T_u + 3.14) \quad (2.3.1-1)$$

Dónde:

DR= porcentaje de personas insatisfechas debido al movimiento de aire.

T_a = es la temperatura de aire local en °C.

V = es la velocidad del aire local medida en metros/segundo.

T_u = es el porcentaje de intensidad de turbulencia local.

Investigaciones realizadas sobre los efectos del movimiento del aire en la temperatura de confort (Rohles et al.1974; Tanabe and Kimura 1989; Scheatzle et al. 1989; Fountain 1991; Fountain et al. 1994; Mayer 1992; Arens et al. 1998), han expuesto que la velocidad del aire tiene un papel importante en la búsqueda del confort dentro de espacios cálidos y recomiendan la aplicación de técnicas bioclimáticas que induzcan al movimiento de aire para mejorar las condiciones térmicas de los espacios.

Toftum (2004), hace un análisis de las preferencias de velocidad del viento dentro de los edificios usando los estudios de campo expuestos por la ASHRAE, con los datos presentados por De Dear (1998). Así examina las preferencias de movimiento de aire de las personas que registraron un rango entre “ligeramente fresco” hasta “ligeramente caluroso”, pasando por el voto neutro. (sensaciones térmicas desde -1 hasta +1, según la escala de valoración térmica de Fanger), es decir, a las personas cercanas o dentro de la zona de confort, e hizo una restricción en el rango de temperatura desde los 22.5°C hasta los 23.5°C y dividió los datos en dos partes, una que abarcaba el movimiento del aire por debajo del límite (0.15m/s con temperatura del aire o temperatura de bulbo seco de 23°C) y otra con movimiento de aire sobre el límite (0.15 a 0.25 m/s).

Los resultados fueron que la mayoría de los ocupantes incluyendo los que habían dado un voto de “ligeramente fresco” solicitaron movimientos de aire por encima del límite prescrito. Solo cuando ambos ocupantes daban como voto “ligeramente fresco” y con movimiento de aire sobre el límite, los resultados demostraban que los ocupantes solicitaron menos movimiento de aire cerca del 17%. Cuando los ocupantes presentaron

votos “neutros” o “ligeramente calurosos” el porcentaje que solicitó menos movimiento de aire fue menos del 20% aun cuando el movimiento del aire estaba por encima del límite, y el porcentaje de personas que esperaban que aumentara el movimiento de aire fue alto.

Toftum concluye que los ocupantes que tiene sensación de frío prefieren menos movimiento de aire y aquellos que presentan sensación de calor, prefieren más movimiento de aire. Esto pasa aun cuando los ocupantes pueden tener control individual sobre la velocidad del viento.

2.3.2 Metodología del desarrollo del producto.

Para desarrollar el producto se utilizó la metodología conocida como seis sigma (DFSS).

Es una metodología que permite diseñar y desarrollar productos y servicios superiores a los existentes, con grandes potenciales para la empresa y en corto tiempo. La metodología DFSS está estructurada en seis pasos. Las características fundamentales del DFSS son:

- Identificar y cuantificar en forma exacta las necesidades de los clientes
- Traducir las necesidades de los clientes en especificaciones de producto
- Cuantificar la variabilidad permitida
- Aplicar técnicas para lograr diseños robustos

Reyes (2007) manifiesta que la metodología “Seis Sigma” tradicional denominado DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar, controlar) o “Seis Sigma para la mejora” se enfoca a la solución de problemas o a su mejora sin un diseño o rediseño completo del sistema. La metodología de “Diseño para Seis Sigma” (DFSS) se enfoca a hacer las

cosas correctas desde la primera vez o sea que el producto o servicio: (1) Haga las cosas correctas; y (2) Hacer las cosas correctas todo el tiempo.



Hacer las cosas correctas significa lograr una excelencia absoluta en diseño, ya sea el diseño del producto, proceso de manufactura, proceso de servicio o proceso de negocio. Hacer las cosas correctas todo el tiempo significa que no solo debe haber un diseño superior, sino que el producto o servicio real construido de acuerdo a ese diseño, siempre haga lo que se supone que debe hacer, con máxima consistencia y mínima variación en desempeño.

Entre las herramientas utilizadas por DFSS se tienen:

- Funciones de transferencia, incluyen las relaciones matemáticas claras entre “causas” (que pueden ser parámetros de diseño o variables de proceso) y “efectos” (que normalmente son métricas de desempeño de producto/proceso). Conociendo las relaciones de las funciones de transferencia, se puede optimizar el diseño para lograr un desempeño superior.
- Los tableros de proyecto DFSS son hojas de trabajo donde se registran los datos históricos y se da seguimiento a las métricas en sus métricas.
- El método de despliegue de la función de calidad (QFD), es una guía y plan para las actividades de diseño para cumplir con los deseos del cliente.
- El método de diseño axiomático proporciona algunas guías importantes (axiomas) sobre lo “que es un buen diseño del sistema” y “qué es un diseño débil del sistema”. Los diseños débiles normalmente tienen interacciones mutuas complicadas, acoplamiento, no independencia y complejidad excesiva. Los buenos diseños tienen relaciones claras entre parámetros de diseño y funciones

de producto, y una simplicidad elegante. Los principios de diseño axiomático pueden ayudar a reducir las vulnerabilidades del diseño por tanto desarrollar diseños optimizados.

- La teoría de solución creativa de problemas (TRIZ) tiene una base amplia de métodos y conocimientos para crear soluciones inventivas para problemas de diseño difíciles. Permite pensar “fuera de la caja” y concebir soluciones innovadoras de diseño.
- Los métodos de Diseño para X, incluyen “diseño para manufactura y ensamble”, “diseño para confiabilidad”, y muchos otros. Diseño para X es una colección de métodos para hacer diseños adecuados para todos los propósitos.
- Los métodos de Análisis del Modo y Efecto de Falla (FMEA), permiten hacer revisiones de diseño y eliminar fallas potenciales en las primeras etapas de diseño.
- Los métodos estadísticos de diseño de experimentos (DOE), pueden ser usados para afinar las funciones de transferencia y optimización. Entre los métodos más populares se encuentra el Diseño factorial completo, diseño factorial fraccional y los métodos de Taguchi.
- Los métodos de Taguchi se basan en arreglos ortogonales y análisis de datos. Incluyen conceptos como la función de pérdida, relación señal a ruido, arreglos internos y externos, factores de control y factores de ruido. Estos métodos permiten lograr un diseño robusto.
- Otros métodos de Taguchi incluyen funciones ideales, relación señal a ruido dinámica, calidad funcional y desarrollo robusto de tecnología.
- Los métodos de Taguchi de diseño de tolerancias o diseño de especificaciones, permiten hacer análisis de tolerancias de peor caso, diseño estadístico de tolerancias, diseño de tolerancias óptimas basadas en costo y diseño de tolerancias de Taguchi.
- Los métodos de superficie de respuesta (RSM), pueden ser usados como una herramienta muy útil para desarrollar funciones de transferencia y realizar su optimización.

- Los métodos de validación del diseño incluyen: validación del diseño (análisis del diseño por simulación o revisión de diseño en prototipos), validación del proceso (validación de la capacidad del proceso), y validación de la producción.

La teoría del diseño de Seis Sigma (DFSS por sus siglas en inglés) es definido como la teoría científica abarcando áreas fundamentales de conocimiento en la forma de percepciones y entendimientos de diferentes campos, y la relación entre estas áreas fundamentales. Estas percepciones y relaciones están combinadas para producir consecuencias en el ente del diseño., la cuales pueden ser, pero no necesariamente, predicciones de observaciones.

Las áreas fundamentales de conocimiento del DFSS incluyen una mezcla de proposiciones e hipótesis, categorización de fenómenos u objetos, ideación y concepción de métodos tales como el diseño axiomático y el TRIZ así como el espectro de estadística empírica y modelos matemáticos. Ese conocimiento y sus relaciones constituyen nuestra teoría de DFSS. En términos de concepción, esta teoría construye sobre el sistema teórico de otros métodos y pueden ser uno de los dos tipos: axiomas o hipótesis, dependiendo de como sean tratadas las áreas fundamentales de conocimiento.

El fundamento del conocimiento que no puede ser probado, generalmente es todavía aceptado como verdadero, serán tratados como axiomas. Si las áreas fundamentales de conocimiento están siendo probadas, son tratadas como hipótesis. El diseño de axiomas (Suh 1990) y TRIZ (Altshuller 1988) son ejemplos de conocimiento fundamental en la teoría DFSS.

El principal objetivo del DFSS es el “diseñarlo correctamente la primera vez” para evitar experiencias dolorosas posteriores o “downstream”. El término “Seis Sigma” en el contexto del DFSS puede ser definido como el nivel al cual las vulnerabilidades del

diseño no son efectivas o mínimas. Generalmente, dos principales vulnerabilidades de diseño pueden afectar la calidad de la entidad de un diseño.

- Vulnerabilidades conceptuales que están establecidas debido a la violación de los axiomas y principios del diseño.
- Vulnerabilidades operacionales debido a la falta de robustez en uso al medioambiente. La eliminación o reducción de vulnerabilidades operacionales es el objetivo de las iniciativas de calidad incluyendo Seis Sigma.

El objetivo del DFSS cuando se ha adoptado al principio “upfront” es el “diseñarlo correctamente la primera vez” anticipando el efecto de ambas fuentes de vulnerabilidad del diseño. Debido a una indisponibilidad de datos en la fase inicial del diseño, la mayoría de las herramientas actuales de Seis Sigma podrían ser no utilizables. El DFSS debería basarse en nuevas herramientas que deberían tomar en consideración la naturaleza única del proceso de diseño en sí.

Fases de Diseño para Seis Sigma (DFSS)

Diseño para Seis Sigma tiene las siguientes cuatro fases:

- Identificar requerimientos
- Describir el diseño
- Optimizar el diseño
- Verificar el diseño

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1 Tipo y Diseño de Investigación.

Diseño de la investigación: Se empleó un diseño cuasiexperimental explicativo, utilizando un método (estrategia), inductivo, deductivo.

Tipo de Investigación:

Es cuasiexperimental porque se aplica estímulos (X) a “sujetos o unidades experimentales (UE)”: jardines verticales plantas. Se observa la reacción (Y), temperatura, humedad, confort termohigrométrico y se registra el resultado u observación (O). Establece la relación causa-efecto.

Se utilizó un Diseño Pareados aleatorizados o Diseño cuasiexperimental clásico. En el cual se siguió los siguientes pasos:

- 1.-Asignación de las unidades experimentales (UE) al grupo experimental (E) y al grupo Testigo (T).
- 2.-Medición de la reacción (Y), tanto en (E) como en (T).
- 3.-Aplicación de los estímulos (X) en (E).
- 4.-Medición de (Y), tanto en (E) como en (T).

Simbólicamente se representa:

E: O1.....X.....O2

T: O3.....X.....O4

Las O1 y O3, establecen la igualdad del estímulo en E y T, en tanto que O2 y O4, mostraran el efecto en X.

Se utilizó un método inductivo por que se observó y se registró los hechos, luego se realizó un análisis y clasificación de los hechos y finalmente se realizó una derivación inductiva de una generalización de los hechos, también se utilizó un método deductivo porque a partir de principios generales, con la ayuda de una serie de reglas de inferencia se demuestra teoremas y principios secundarios.

Método de investigación: cuasiexperimental por que se determinó las plantas de ciertas características, para el jardín básico con un solo tipo de plantas, se utilizó helechos, nombre científico (*Nephrolepis exaltata*) y para el jardín convencional cuatro tipos de plantas, helechos, mala madre o cinta, nombre científico (*Chlorophytum comosum*), Hiedra (*Hedera hélix*) y espada de San Jorge o lengua de suegra, nombre científico (*Sansevieria triifasciata*), estas plantas se colocó en una cabina y se comparó con otra cabina sin plantas para ver el aporte en el confort termohigrométrico y luego encontrar la relación del jardín vertical con el confort termohigrométrico.

3.2 Procedimiento.

3.2.1 Tipos de jardines verticales.

Para iniciar con el procedimiento en primer lugar se definirá los tipos de jardines verticales.

Félix Maocho (2010), considera que existen cinco tipos de jardines verticales.

Jardines verticales a dos caras.

Utilizado a modo de tapia de separación de espacios o a veces como paredes de sombra y humedad destinadas a crear un clima agradable en un espacio como puede ser una pérgola cenador o simplemente un banco que de otra forma quedaría en peor situación climática.

Jardines verticales pasivos.

Son los más habituales revisten de verde una pared vertical, es decir son iguales a los anteriores pero con una sola cara pueden ser instalados tanto en interior como en exterior, y aparte de su belleza aportan beneficios ambientales y energéticos, pues aumentan el aislamiento térmico del muro donde se encuentra y en consecuencia ahorran energía, tanto por reducir la ventilación necesaria al actuar como biofiltro del aire.

Jardines verticales activos.

Se utilizan tanto en el interior como en el exterior, componente auxiliar de la ventilación y climatización de los edificios, actuando como sistemas ecológicos de acondicionamiento y biofiltrado de aire en combinación con los sistemas de climatización y ventilación convencionales de los edificios.

Situado en el propio interior de la edificación la pared verde funciona es como un gigantesco filtro de aire que no solo humidifica y refresca, sino que además lo filtra de impurezas y oxigena. Esta solución ecológica es propugnada por la joven compañía Terapia Urbana, que como su nombre indica ha nacido con la vocación de “sanar” las ciudades mediante la “cirugía verde”.

Jardines verticales hidropónicos.

En estos sistemas las raíces crecen en un medio inerte: fieltro no tejido (poliamida, polietileno, poliéster), lana de roca, espumas técnicas (poliuretano, poliurea). También existen algunos sistemas donde la solución nutritiva discurre a través de tubos. En estos jardines verticales todos los nutrientes son aportados vía riego.

Jardines verticales con sustrato.

En estos sistemas las raíces crecen en un medio con un medio granular con porcentaje orgánico más o menos elevado, las mezclas de sustrato utilizadas suelen ser ligeras, pueden incluir arlita, perlita, sphagnum, espumas técnicas, que les confieren la capacidad de retención de agua, aireación y drenaje. Los nutrientes se pueden aportar vía riego en mayor o menor porcentaje pero no son imprescindibles para el funcionamiento a corto plazo.

Existen otros sistemas de jardinería vertical fuera de esta clasificación como los jardines verticales de trepadoras, las instalaciones de jardineras en vertical y otros.

3.2.2 Elementos de un Jardín Vertical

El Jardín Vertical lo forman los siguientes elementos;

- La estructura portante

- La cara posterior (si es a una cara vista).
- La cara verde (dos caras si es a dos caras vistas).
- La cubeta de escurridores.
- El sustrato.
- El sistema de riego.
- Las plantas.

Determinación de las plantas más adecuadas que permiten condiciones ambientales favorables.

Para la asociación de las plantas en el prototipo de jardín vertical se tomó cuatro especies: *Helecho* (*Nephrolepis exaltata*), *Cintas* (*Chlorophytum comosum*), *Hiedra* (*Hedera helix*) y *Espada de San Jorge* (*Sansevieria trifasciata*), estas plantas son recomendadas por la NASA ya que purifican el aire en el interior de los edificios.

Descripción de la Hiedra (Hedera helix).

Nombre común: *Hiedra*

Nombre científico: *Hedera helix*

Familia: *Araliaceae*

Género: *Asteridae*

Clase: *Magnoliopsida*

Planta de hasta 30 m, trepadora, perenne, que forma amplias alfombras o trepa por soportes, tiene tallos vegetativos o estériles y tallos reproductivos, presentan raíces adventicias que salen de unos pequeños discos situados en los extremos de ramas estériles especializadas, las cortezas exudan una resina gomosa.

Las hojas poseen dos tipos de ramas, unas fértiles y otras estériles, que se distinguen fácilmente por la forma de sus hojas. Las hojas estériles son lobuladas con tres o cinco lóbulos y un nervio central que llega al extremo de cada uno de ellos; las hojas fértiles son ovaladas con un solo nervio central, y no pueden trepar tanto.

Las flores son hermafroditas y se reúnen en inflorescencia de tipo umbela, con 12 a 20 flores solitarias o agrupadas en una panícula racimosa. El cáliz tiene sépalos pequeños y deltados y la corola 5 pétalos de 3 a 5 mm, son de color verde amarillentos. La aparición de las flores de color amarillo verdoso se produce en agosto, septiembre y octubre, obviamente solo en las ramas fértiles.

La hiedra es resistente al frío, tolera la cal y prefiere un ambiente húmedo; en los climas cálidos es preferible mantener el suelo húmedo durante los primeros años. En los meses de estío hay que suministrar mucho fertilizante y mojar las hojas con frecuencia. Después del trasplante necesita riego y soporte. La poda se realiza en marzo o julio.

Descripción de la Nephrolepis exaltata

Nombre común: helecho.

Nombre científico: Nephrolepis Exaltata.

Familia: Polipodiáceas.

Características:

El helecho es una planta tupida de 50 a 60 cm de altura. De hoja perenne. Las frondas son muy largas y penden con gran elegancia. Se componen de folíolos verdes, situados a uno y otro lado del tallo.

Ubicación: se adapta bien en un lugar claro sin sol directo, a una temperatura de 18 a 20°C que en invierno descienda por debajo de los 15 °C.

Riego: Debe regarse con regularidad, empleando agua blanda. Debe mantenerse el suelo húmedo.

Cuidados especiales: hay que vaporizar el follaje periódicamente con agua blanda.

Parásitos y enfermedades: es sensible a las cochinillas y pulgones.

Trasplante: en marzo-abril y cuando las raíces llenan la maceta; utilice un substrato ligero a base de turba. Si está sola, es conveniente que la meta en un macetero grande, lleno de turba, para mantener una atmósfera húmeda.

Abono: Semanal de febrero a octubre.

Multiplicación: al cabo de unos años, los helechos forman estolones sobre los que se desarrollan retoños. Estos pueden plantarse en un substrato ligero: pronto darán ejemplares muy vigorosos.

Poda: consiste en arrancar las hojas secas.

Descripción Sansevieria trifasciata.

Familia: Liliáceas

Nombre científico: Sansevieria

Nombre común: Lengua de suegra o Espada de san Jorge

Características generales: planta herbácea de tallo erecto, o /e crece de 30 a 40 cm., sus hojas son espadiformes alargadas con llamativos diseños color amarillo en todo el borde, sus raíces son en forma de rizomas. Presenta floración en racimos, fruto en bayas con semillas comprimidas.

Propagación: se propaga por esquejes u hijuelos.

Tolerancia: tolera luz directa, lugares oscuros, sequía y también temperatura y humedad alta, así como vientos y suelos poco salinos.

Uso Urbano: las ciudades de esta especie son bien reconocidas por paisajistas, ya que cuenta con recurso de fácil adaptación y gran impacto para jardines secos, se ven bien acompañadas con diseños rocosos así como también con especies de zona seca.

Mantenimiento: esta planta es atacada cuando se le provee exceso de humedad por pulgones, enfermedades fungosas y bacterianas, por lo que se recomienda realizar riego leve, poda y manejo fitosanitario.

Observación: como una observación se puede indicar su fácil reproducción y manejo, en especial cuando están situadas en sitios al aire libre, es una especie que posee cualidades medicinales, se debe tener precaución con los bordes de esta planta, ya que puede ocasionar cortaduras.

Descripción de la *Chlorophytum comosum*.

Chlorophytum comosum, es una *especie fanerógama*, acaule del *género Chlorophytum*, nativa de Sudáfrica, es conocida popularmente como cinta, malamadre, araña o lazo de amor.

Especie *herbácea perenne*, que crece formando una roseta central posee hojas angostas y largas, lineal-lanceoladas, paralelinervias, borde entero, de 20–40 cm de longitud y 5–20 mm de ancho. En el punto donde una hoja desarrollaría un nodo, se producen raíces adventicias, tanto bajo tierra como aéreas, así como estolones de los

que surgen hijuelos y diminutas flores hermafroditas de color blanco, actinomorfas, de ovario súpero formado por tres carpelos soldados, posee un solo estigma y seis estambres.

En 1984 recibió especial atención a nivel mundial cuando la NASA dio a conocer por primera vez los hallazgos de unas investigaciones que mostraban la capacidad de esta planta de eliminar los contaminantes del aire en los interiores. En una habitación con muchas Cintas, la cantidad de CO₂, Monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, xileno y formaldehído, se redujo a casi cero después de tan sólo 24 horas, Indicadas tanto en cocinas donde se utiliza gas como en salones y comedores donde hay reuniones de mucha gente.

Indicadas en: cocinas, salones y comedores donde circula mucha gente

Luz. No la pongas al sol directo del medio día. Tolera bien los lugares oscuros, pero puede perder la banda blanca de las hojas por la oscuridad.

Temperatura.

La Cinta aguanta heladas débiles, no inferiores a -2°C y de corta duración.

Humedad.

Pulveriza las hojas de vez en cuando.

Riego.

Riego 2 ó 3 veces a la semana en verano y 1 en invierno. Las Cintas toleran la sequía y no mueren si se olvida el riego, ya que la almacenan agua en las raíces.

Los espacios entre plantas a ser sembradas en las bandejas se determinó de la siguiente manera.

$$x=d(n)(n+1)(e) \text{ (3.2.2-1)}$$

Dónde:

x =longitud total de la bandeja

d=diámetro del agujeros

n= número de agujeros

e=espacios entre agujeros

Resultando los valores presentados en la Figura 12.

3.2.3 Diseño de los jardines verticales usando la metodología seis sigma.

Primera fase identificar requerimientos.

Los proyectos DFSS pueden ponerse en categorías como diseño o rediseño de una entidad. “Diseño creativo” es el término que estaremos utilizando para indicar un nuevo diseño, un diseño desde el inicio, y el diseño incremental para el rediseño o diseño desde un dato del diseño.

Requerimientos de los clientes para los jardines verticales.

En esta fase se utilizó información histórica en donde se determino los éxitos y fracasos en el diseño de los jardines verticales, en base a esta información los clientes sugieren los siguientes aspectos a ser tomados en cuenta en la construcción:

- A. Mejora paisajística del entorno.
- B. Reducir el ruido del entorno.
- C. Espacios ligeros de peso.
- D. Que puedan instalarse en el exterior de edificios.
- E. Que se pueda controlar la humedad de los jardines verticales.
- F. Que sean instalados para diferentes climas.
- G. Que brinden el confort térmico al utilizar los jardines verticales ya sea en un área de trabajo o en ambiente cerrado.

Para definir los aspectos más importantes en el diseño del jardín vertical se utilizó

una matriz de priorización.

Matriz de priorización

Requerimientos	A	B	C	D	E	F	G	Total
A	-	0	1	3	2	2	0	8
B	0	-	0	3	1	3	1	8
C	1	0	-	2	1	3	0	7
D	3	3	2	-	3	3	1	15
E	2	1	1	3	-	3	3	13
F	2	3	3	3		-	3	14
G	0	1	0	1	3	3	-	8

Variables:	
Alta Relación	3
Medio Relación	2
Baja Relación	1
Nada	0

Figura 3. Matriz de priorización para determinar los requerimientos del cliente.

Fuente: Elaborado por el autor.

Las variables que hay que mejorar son las que tienen mayor puntaje en las cuales esta:

- D. Que puedan instalarse en el exterior de edificios.
- E. Que se pueda controlar la humedad de los jardines verticales.
- F. Que sean instalados para diferentes climas.

Con estas sugerencias entregadas por el cliente se considera que los jardines verticales deben cumplir con las siguientes condiciones:

Todos los elementos mecánicos incluidos tornillos pasadores y otros materiales auxiliares, han de ser de materiales que soporten sin cambios un alto grado de humedad, sales, así como la luz solar y el aire, es decir una ambiente muy corrosivos y degradante

para muchos tipos de materiales tanto naturales como sintéticos. Debe tener en cuenta que una vez instalado el jardín vertical es imposible realizar mantenimientos como reposición de pinturas y que además resulta complejo sustituir algún elemento del soporte.

Por tanto queda excluidos cualquier material que en estas condiciones se degrade en poco tiempo, como la madera, muchos plásticos que no soportan la radiación ultravioleta e incluso el acero que no sea inoxidable, siendo en cambio muy adecuados materiales como el aluminio, el vidrio, algunos plásticos que soporten la radiación ultravioleta y el chapado marino, o de un material que se recomiende usar en intemperie.

Segunda fase describir.

Los requerimientos del cliente (CTSs) da una idea acerca de qué se necesitará para satisfacer al cliente, pero no pueden ser utilizados directamente como requerimientos para el diseño del producto/servicio. Necesitamos traducir los requerimientos del cliente a requerimientos funcionales al producto/proceso. QFD puede ser utilizado para agregar esta transformación. El principio del diseño axiomático será de mucho ayuda para este paso.

Después de la determinación de los requerimientos funcionales para la nueva entidad del diseño (producto, servicio, o proceso), necesitamos caracterizar (desarrollar) entidades de diseño que serán capaces de entregar esos requerimientos funcionales. En general, existen dos posibilidades:

1. La tecnología existente o el concepto del diseño conocido tiene la capacidad de entregar todos los requerimientos satisfactoriamente, este paso entonces se convierte en un ejercicio trivial.
2. La tecnología existente o el diseño conocido no tiene la capacidad de entregar todos los requerimiento de manera satisfactoria, entonces un nuevo concepto de diseño necesita ser desarrollado. Este nuevo diseño podría ser “creativo” o “incremental” reflejando el grado de desviación desde la base del diseño.

Diseño y construcción de cabinas de ensayo para la experimentación.

Se diseñó y se construyó dos cabinas de ensayo de las mismas características, en una de ellas se colocó las bandejas con las plantas y la otra quedó libre, las paredes son de ladrillo recubiertos con una capa de enlucido, las dimensiones de las cabinas son: largo de 3,25 m, ancho de 1,75 y altura de la parte frontal 2 m, la parte posterior de las cabinas de 2,70 m, con techo de zinc, cielo raso, ventanas de un 1 metro cuadrado y puertas de madera color mango.



(a)



(b)

Fotografía 1. Construcción de las cabinas, (a) colocación de techos, puertas, ventanas, (b) pintura de las cabinas para el jardín vertical.

Fuente: Elaborado por el autor.



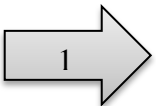



Para la investigación se construyó dos cabinas experimentales, la una con jardín vertical y otra sin jardín vertical que servirá como testigo, en las cuales se analizó las variables temperatura de bulbo seco, temperatura húmeda, temperatura de globo, humedad y velocidad del aire, luego calcularemos el índice TGBH para interiores con la ecuación (2.2.2-3), en convección natural y en convección forzada, se debe tener en cuenta que la temperatura del aire, que es el parámetro al que normalmente se hace referencia para definir un ambiente caluroso, no interviene directamente en el cálculo del TGBH. En realidad la temperatura del aire está escondida en los valores de la temperatura de globo y de la temperatura húmeda natural, junto con los otros factores que también inciden en el riesgo de estrés térmico (radiación, humedad y velocidad del aire).





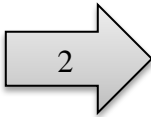

Se determinó el confort termohigrométrico bueno de acuerdo a la normativa Ecuatoriana, cuando se cumpla las siguientes condiciones, para trabajos ligeros, la temperatura debe estar entre (14- 25) °C, (30-70) % de humedad, velocidades de aire menores al 0.25 m/s en ambientes no calurosos y menores a 0.5 m/s en ambientes calurosos.

Con estos requerimientos se diseñó el marco metálico que soporta los jardines verticales para lo cual se elabora un diagrama de procesos.

En la elaboración del marco metálico, primero se receipta la materia prima (tubos metálicos) la cual se almacena, luego se transporta los tubos al lugar de trabajo que esta a una distancia de 5 metros de la bodega, ya en el lugar de trabajo se procede a medir los tubos metálicos, una vez medido se procede a cortar y soldar, dándole la forma del marco, luego se pinta, se inspecciona y se lo deja secar, se inspecciona por segunda ocasión y transporta a la bodega para almacenarlo.

FABRICACIÓN DE MARCO METÁLICO – 8 BANDEJAS PARA JARDÍN VERTICAL	
Tipo de Diagrama: Diagrama de Procesos – Análisis del hombre	Departamento:
Método: Original	Preparado por: Equipo Constructor
Operación: Fabricación del marco metálico	Fecha:

DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	5		Recepción de materia prima
	5		Almacenaje de la materia prima
5	5		Transporte al lugar de trabajo
	10		Medición de cada uno de los tubos
	10		Corte de los tubos
	2400		Soldar los tubos

	240		Pintado de la estructura
	30		Se inspecciona si está completamente pintado
	480		Secado de la estructura
	10		Se inspecciona si está completamente seco
5	5		Transporte a bodega
	30		Se almacena en bodega

RESUMEN









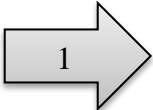






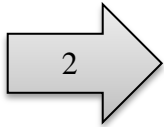
NOMBRE	SÍMBOLO	NÚMERO	DISTANCIA	TIEMPO /min
Operación		5	-	2665
Inspección		2	-	40
Transporte		2	10 m	10
Demora		1	-	480
Almacenado		2	-	35
A. combinado		0	-	-
DISTANCIA TOTAL			10 m	
TIEMPO TOTAL MINUTOS				3230
TIEMPO TOTAL HORAS				54,23

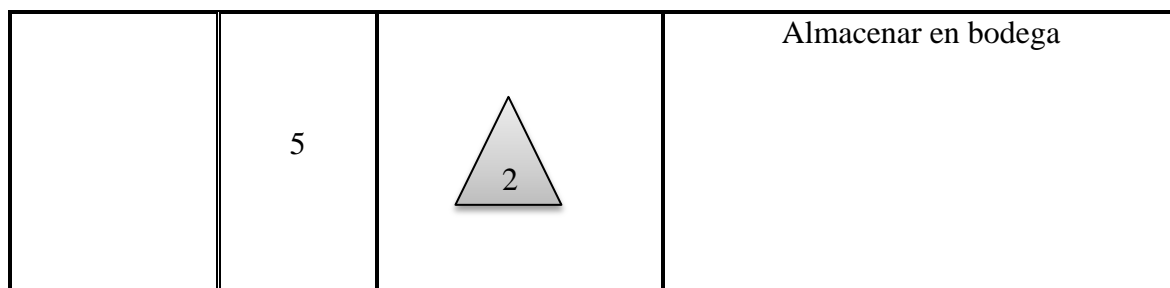
Figura 4. Diagrama de procesos para la construcción de 8 marcos metálicos para los jardines verticales.

Fuente: Elaborado por el autor.

Para la colocación de la malla metálica en las 8 bandejas primero realizamos la recepción de la materia prima (malla metálica electrosoldada) la cual se almacena, luego se transporta la malla al lugar de trabajo (Taller) (5 m), ya en el lugar de trabajo se procede a medir de acuerdo al marco metálico, una vez medido se procede a cortar, posteriormente se realiza una nueva medición para los diámetros donde serán ubicada las plantas, luego se procede a la perforación de dichos agujeros, se hace una inspección de la operación, al terminar se suelda la malla a la estructura del marco y finalmente se transporta a bodega (5 m) y se almacena.

COLOCACIÓN DE MALLA METÁLICA PARA JARDIN VERTICAL			
Tipo de Diagrama: Diagrama de Procesos – Análisis del hombre		Departamento:	
Método: Original		Preparado por: Equipo Constructor	
Operación: Colocación de la malla metálica		Fecha:	
DISTANCIA	TIEMPO	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	5		Recepción de materia prima

	5		Almacenaje de la materia prima
5	5		Transporte al lugar de trabajo
	10		Medición de la malla de acuerdo al marco
	10		Corte de la malla
	5		Medición del diámetro de los agujeros para las platas
	120		Agujereado de la malla(posición de las plantas)
	5		Se inspecciona si está correctamente los huecos
	120		Soldar la malla a la estructura
5	5		Transporte al lugar de almacenado



RESUMEN







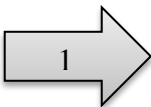



NOMBRE	SÍMBOLO	NÚMERO	DISTANCIA	TIEMPO /min
Operación		6	-	270
Inspección		1	-	5
Transporte		2	10 m	10
Demora		-	-	-
Almacenado		2	-	10
A. combinado		-	-	-
DISTANCIA TOTAL			10 m	
TIEMPO TOTAL MINUTOS				295
TIEMPO TOTAL HORAS				5.31




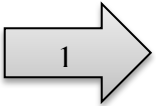


Figura 5. Diagrama de procesos para la colocación de la malla metálica.

Fuente: Elaborado por el autor.

Para la ubicación de las plantas en las 8 bandejas primero realizamos la recepción de la materia prima (plantas) y a su vez se almacena, luego se transporta la plantas al lugar de trabajo (Taller)(5 m), ya en el lugar de trabajo se procede a colocar una cubierta de plástico de polietileno al marco metálico, se saca los plásticos con los cuales vienen cubiertas las plantas, posteriormente se trasplantan las plantas en las bandejas del prototipo de jardín vertical. Se realiza una inspección, al terminar se realiza un riego a las plantas y se las deja en reposo, se transporta las bandejas a la cabina experimental, finalmente se colocan ganchos de soporte de las bandejas en la cabina experimental y se ubican las bandejas en las paredes.

DISTRIBUCIÓN DE PLANTAS EN EL JARDIN VERTICAL	
Tipo de Diagrama: Diagrama de Procesos – Análisis del hombre	Departamento:
Método: Original	Preparado por: Equipo Constructor
Operación: Transplante de plantas.	Fecha:

DISTANCIA	TIEMPO	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	30		Recepción de materia prima (plantas)
	5		Almacenaje de la materia prima
8000	20		Transporte al lugar de trabajo
	120		Colocar cubierta de plástico con polietileno en el marco
	2		Sacado de plástico de las plantas(Cubierta)
	10		Trasplante de las plantas en las bandejas del prototipo de jardín vertical.

	5		Se inspecciona si está colocado correctamente
	30		Riego de plantas
	21600		Reposo de plantas
20	30		Transporte de las bandejas a la cabina experimental
	60		Colocación de ganchos de soporte de las bandejas en la cabina experimental
	120		Ubicación de las bandejas en las paredes

RESUMEN






NOMBRE	SÍMBOLO	NÚMERO	DISTANCIA	TIEMPO /min
Operación		7	-	372
Inspección		1	-	5
Transporte		2	8020 m	50
Demora		1	-	21600
Almacenado		1	-	5
A. combinado		-	-	-
DISTANCIA TOTAL			8020 m	
TIEMPO TOTAL MINUTOS				22032
TIEMPO TOTAL HORAS				367,2

Figura 6. Diagrama de procesos para la distribución de las plantas en los jardines verticales.

Fuente: Elaborado por el autor.

CUADRO DE RESUMEN TOTAL







NOMBRE	SÍMBOLO	NÚMERO	DISTANCIA	TIEMPO /min
Operación		18	-	3307
Inspección		4	-	50
Transporte		6	8040 m	70
Demora		2	-	21080
Almacenado		5	-	50
A. combinado		-	-	-
DISTANCIA TOTAL			8020 m	
TIEMPO TOTAL MINUTOS				24557
TIEMPO TOTAL HORAS				409.28

Figura 7. Cuadro resumen de tiempos, para la construcción de los marcos metálicos, colocación de la malla y distribución de plantas de los jardines verticales.

Fuente: Elaborado por el autor.


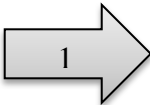
En el cuadro resumen se aprecia que, para la construcción de los marcos metálicos, colocación de la malla y siembra de las plantas se emplea 409,28 horas, (34,1 días).







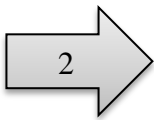

Tercera fase optimizar.

El resultado de esta fase es una entidad de diseño optimizada con todos los requerimientos funcionales liberados al nivel de desempeño Six Sigma. Como el concepto de diseño es terminado, existen todavía muchos parámetros de diseño que pueden ser ajustados o cambiados. Usualmente, esta fase de optimización de parámetros, en proyectos de producto DFSS, serán seguidos por paso de optimización de tolerancia. El objetivo es proporcionar una base lógica y objetiva para el establecimiento de tolerancias de manufactura. Si los parámetros del diseño no son controlables, lo cual es usualmente el caso de proyectos de producto DFSS, será necesario repetir las fases 1 a 3 del DFSS para el diseño del proceso de manufactura.

OPTIMIZAR

FABRICACIÓN DEL MARCO METÁLICO – 8 BANDEJAS PARA JARDÍN VERTICAL	
Tipo de Diagrama: Diagrama de Procesos – Análisis del hombre	Departamento:
Método: mejorado	Preparado por: Equipo Constructor
Operación: Fabricación de marco metálico	Fecha:

DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	5		Materia prima
3	3		Transporte al lugar de trabajo

	10		Medición de cada uno de los tubos
	10		Corte de los tubos
	2400		Soldar los tubos
	240		Pintado de la estructura
	480		Secado de la estructura
	10		Se inspecciona si está completamente seco
3	3		Transporte a bodega
	30		Almacenamiento de producto terminado

RESUMEN








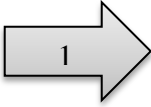




Actual NOMBRE	SÍMBOLO	NÚMERO	DISTANCIA	TIEMPO /min
Operación		4	-	2660
Inspección		1	-	10
Transporte		2	6 m	6
Demora		1	-	480
Almacenado		2	-	35
A. combinado		0	-	-
DISTANCIA TOTAL			16 m	
TIEMPO TOTAL MINUTOS				31391
TIEMPO TOTAL HORAS				53.18

Figura 8. Diagrama de procesos mejorado para la construcción de 8 marcos metálicos para los jardines verticales.

Fuente: Elaborado por el autor.

PROCESOS MEJORADO PARA LA COLOCACIÓN DE LA MALLA METÁLICA.			
Tipo de Diagrama: Diagrama de Procesos – Análisis del hombre		Departamento:	
Método: Mejorado		Preparado por: Equipo Constructor	
Operación: Colocación de la malla metálica.		Fecha:	
DISTANCIA	TIEMPO	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	5		Almacenaje de la materia prima

3	5		Transporte al lugar de trabajo
	30		Medición de la malla de acuerdo al marco, diámetro de los agujeros
	90		Corte de la malla y agujeros
	120		Soldar la malla a la estructura
	5		Almacenar en bodega

RESUMEN








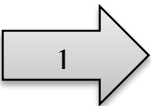





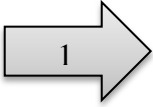


NOMBRE	SÍMBOLO	NÚMERO	DISTANCIA	TIEMPO /min
Operación		3	-	240
Inspección		-	-	-
Transporte		2	6 m	6
Demora		-	-	-
Almacenado		2	-	10
A. combinado		-	-	-
DISTANCIA TOTAL			6 m	
TIEMPO TOTAL MINUTOS				256
TIEMPO TOTAL HORAS				4.27

Figura 9. Diagrama de procesos mejorado para la colocación de la malla metálica.

Fuente: Elaborado por el autor.

DISTRIBUCIÓN DE PLANTAS EN EL JARDIN VERTICAL	
Tipo de Diagrama: Diagrama de Procesos – Análisis del hombre	Departamento:
Método: Mejorado	Preparado por: Equipo Constructor
Operación: Transplante de plantas.	Fecha:

DISTANCIA	TIEMPO	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	5		Almacenaje de la materia prima
8000	20		Transporte al lugar de trabajo
	120		Colocar cubierta de plástico con polietileno en el marco
	2		Sacado de plástico de las plantas (Cubierta)
	10		Trasplante de las plantas en las bandejas del prototipo de jardín vertical.

	30		Riego de plantas
	21600		Reposo de plantas
20	30		Transporte de las bandejas a la cabina experimental
	60		Colocación de ganchos de soporte de las bandejas en la cabina experimental
	120		Ubicación de las bandejas en las paredes

RESUMEN







NOMBRE	SÍMBOLO	NÚMERO	DISTANCIA	TIEMPO /min
Operación		6	-	342
Inspección		-	-	-
Transporte		2	8020 m	50
Demora		1	-	21600
Almacenado		1	-	5
A. combinado		-	-	-
DISTANCIA TOTAL			8020 m	
TIEMPO TOTAL MINUTOS				21997
TIEMPO TOTAL HORAS				366,62

Figura 10. Diagrama de procesos mejorado para la distribución de las plantas en los jardines verticales.

Fuente: Elaborado por el autor.

CUADRO DE RESUMEN TOTAL

Mejorado






NOMBRE	SÍMBOLO	NÚMERO	DISTANCIA	TIEMPO /min
Operación		13	-	3242
Inspección		1	-	10
Transporte		6	8032 m	62
Demora		2	-	22080
Almacenado		5	-	50
A. combinado		-	-	-
DISTANCIA TOTAL			8032 m	
TIEMPO TOTAL MINUTOS				25444
TIEMPO TOTAL HORAS				424.06

Figura 11. Cuadro resumen de tiempos óptimos, para la construcción del marcos metálicos, colocación de la malla y distribución de plantas de los jardines verticales.

Fuente: Elaborado por el autor.

En el cuadro resumen podemos apreciar que, para la construcción de los marcos, colocación de la malla y siembra de las plantas mejorando el proceso, se emplea 424.06 horas (17,6 días), en comparación con el tiempo anterior de 409.28 (17,05 días), tenemos un ahorro de 14.78 horas (0,61 días).

Cuarta fase verificar.

Después que los parámetros y las tolerancias del diseño están completos, se procederá a la verificación final y la validación de actividades.

Ningún producto o servicio debería ir directamente al mercado sin antes hacer la prueba piloto y refinación. Aquí podemos utilizar el análisis de modo y efecto de falla de

diseño (DFMEA) así como el piloto y pequeñas implementaciones a escala para probar y evaluar el desempeño en la vida real.

Con estas consideraciones se procede al diseño y construcción del prototipo.

Diseño y construcción del prototipo de jardín vertical.

Se construyó ocho bandejas de 1m de largo por 1m de ancho y 0,15m de profundidad, con tubo metálico cuadrado de 3/4 pulgada, luego se las recubrió con malla electro soldada y plástico polietileno por todos los lados para evitar que el sustrato se derrame, también se colocó en las paredes los soportes de las bandejas los cuales se separan de la pared 0,20 m para su aireación, el riego se lo realizó por goteo.



Fotografía 2. Diseño de la estructura de los prototipos de jardín vertical.

Fuente: Elaborado por el autor.



Fotografía 3. Diseño de las bandejas del prototipo de jardín vertical.

Fuente: Elaborado por el autor.

a.- Distribución de las plantas en las bandejas con un solo tipo de planta (básico).

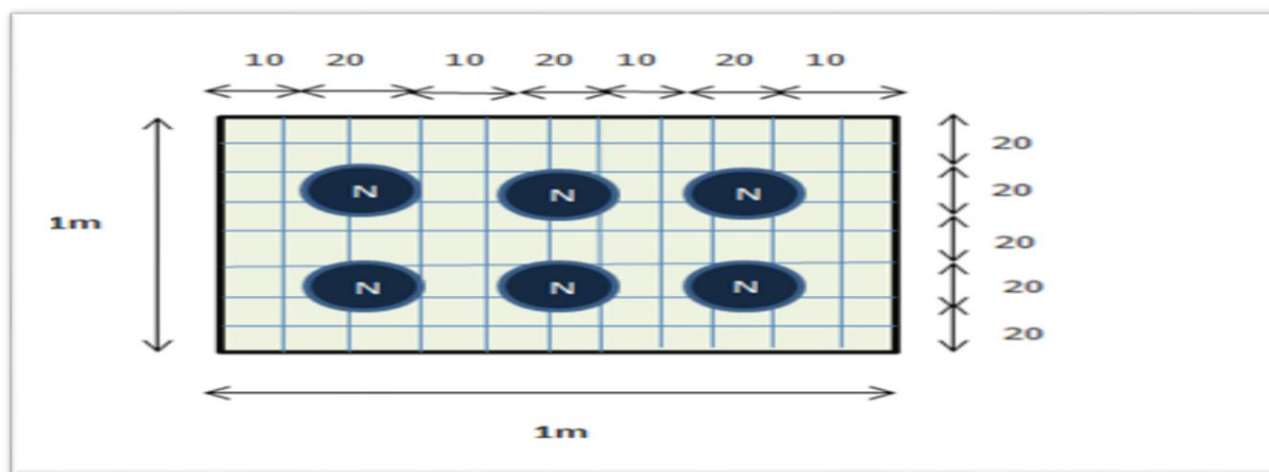


Figura 12. Distribución de las plantas en las bandejas con un solo tipo de planta.

Donde:

$N = \text{Helecho}$ (*Nephrolepis exaltata*).

Se construyó cuatro bandejas en las cuales se colocó 6 plantas por bandeja, dando un total de 24 plantas para el prototipo.

El mismo procedimiento se realizó para distribuir los cuatro tipos de plantas.

b.- Distribución de las plantas en las bandejas con cuatro tipo de plantas (convencional).

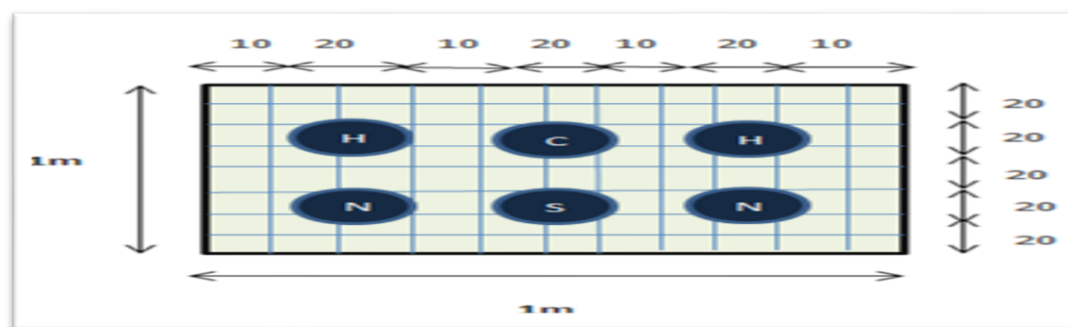


Figura 13. Distribución de las plantas en las bandejas con cuatro tipo de plantas.

Fuente: Elaborado por el autor.

Donde:

N=Helecho (Nephrolepis exaltata).

C=Cinta (Chlorophytum comosum).

H=Hiedra (Hedera hélix).

S= Espada de San Jorge (Sansevieria trifasciata).

En los agujeros se lo representó con la letra inicial del nombre científico de la planta en el prototipo de jardín vertical.

Trasplante de las plantas en las bandejas del prototipo de jardín vertical.

El trasplante se realizó una vez diseñadas y construidas las bandejas de los prototipos de jardín vertical de helechos y de asociación de plantas se procedió a cubrir por la parte interior de las bandejas con plástico polietileno de color negro como se muestra en la **fotografía 4**, para evitar que se derrame el sustrato seleccionado para el trasplante.



Fotografía 4. Bandejas cubiertas con plástico de polietileno.

Fuente: Elaborado por el autor.

Una vez cubierto con el plástico las bandejas se introduce el sustrato (shunshine mix 3) hasta llenar cada bandeja, en donde se procedió el trasplante de las plantas de cada una de las bandejas de las especies vegetales a plantar, una vez trasplantado se procedió a realizar el riego.



Fotografía 5. Trasplante de las plantas en los prototipos.

Fuente: Elaborado por el autor.

Selección del sustrato para controlar la humedad de las plantas en el prototipo.

Para la selección del sustrato de las plantas del prototipo de jardín vertical se tomó 4 muestras de sustratos entre las cuales son: El sustrato orgánico comercial (borita), Suelo, Fibra de coco y turba rubia de musgo sphagnun canadiense fino (Sunshine mix 3) son de usos de jardinería.

Las cuales fueron analizados en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo, los parámetros analizados son: pH, Porcentaje de humedad, Densidad Aparente, Temperatura, Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Materia orgánica (**Ver Anexo 2**).



Fotografía 6. Sustrato Sunshine mix 3.5

Fuente: Elaborado por el autor.

Procedimiento de la medición de las condiciones ambientales como: la temperatura del bulbo húmedo, temperatura de bulbo seco, temperatura de globo, humedad relativa y velocidad del aire, en las cabinas de ensayo con el prototipo y sin prototipo de jardín vertical en convección natural y forzada.

a. Equipos de medición de las condiciones ambientales.

Se utilizó como equipo el Anemómetro con sensor independiente TMA10, que permitió medir la velocidad (m/s), y el equipo Questem p°34 que permitió medir la temperatura del bulbo húmedo, temperatura del bulbo seco, temperatura del globo y el porcentaje de humedad relativa y un ventilador fan TEKNOFS1609A, que permitió generar convección forzada.

b. Medición de las condiciones ambientales con el prototipo de jardín vertical de helechos en convección natural y forzada.

Se realizó la medición con los equipos y se registró los datos en la ficha (**Ver anexo 2**) de las condiciones ambientales como son: Temperatura del bulbo húmedo, temperatura del bulbo seco, temperatura del globo, humedad relativa y velocidad del viento, a cada hora dentro de las cabinas de ensayos con y sin prototipo de jardín vertical desde las 9am a 12pm y 14pm a 17pm durante los 5 días laborales de la semana en convección natural y 5 días laborales en convección forzada.

c. Medición de las condiciones ambientales con el prototipo de jardín vertical con la asociación en convección natural y forzada.

Se realizó la medición con los equipos y se registró los datos en la ficha, (Ver anexo 3), en convección natural y forzada.

3.3 Unidad de análisis.

Jardín vertical con convección natural y forzada utilizando un solo tipo de plantas y con cuatro plantas diferentes.

3.4 Técnicas de recolección de datos.

- Observación directa de los hechos, (Check list)
- Elaboración de fichas técnicas para la selección.
- Registro fotográfico.
- Determinación de Temperatura de bulbo seco en °C, Temperatura Húmeda en °C, Temperatura de globo en °C, Humedad del aire en %, con el equipo Questum p34.
- Determinación de la velocidad del aire con el anemómetro con sensor independiente, TMA 10.
- Especificaciones sobre los comportamientos técnicos de los materiales usados o propuestos.
- Normativas de seguridad y salud en el trabajo, decreto ejecutivo 2393 de la Dirección del Seguro General de Riesgos de Trabajo y en el Capítulo V MEDIO

AMBIENTE Y RIESGOS LABORALES POR FACTORES FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS.

- Análisis de datos de laboratorio.

3.5 Análisis e interpretación de la información.

Los análisis de tablas y figuras se realizaron con el programa Excel, SPSS 20 y para la comprobación de la hipótesis se utilizó la herramienta de análisis de datos con el coeficiente de Pearsón llamado también coeficiente de correlación.

CAPÍTULO 4 : RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis, interpretación y discusión de resultados

4.1.1 Resultados del jardín vertical de helechos (*Nephrolepis exaltata*).

Una vez diseñado el prototipo de jardín vertical de helechos, aplicando la fórmula (3.2.2-1), se coloca 6 plantas en cada bandeja, son 4 bandejas dando un total de 24 plantas ornamentales de la misma especie, la distribución de las plantas se muestra en la **Figura 12**.

4.1.2 Resultados de la asociación de plantas. Helecho (*Nephrolepis exaltata*), Cintas (*Chlorophytum comosum*), Hiedra (*Hedera hélix*) y Espada de San Jorge (*Sansevieria trifasciata*)

Diseñado el prototipo de jardín vertical de la asociación de plantas mediante la aplicación de la fórmula (3.2.2-1) mencionada en el apartado de los procedimientos se

colocan 6 plantas en cada bandeja, son 4 bandejas dando un total de 24 plantas ornamentales de distinta especie, la distribución de las plantas se muestra en la **Figura 13**.

4.2 Resultados de los análisis de laboratorio a ser utilizado en los jardines verticales, para controlar la humedad de las plantas.

Las muestras realizadas se describen en el respectivo apartado de procedimiento, mientras que los análisis de los parámetros: pH, porcentaje de humedad, Densidad Aparente, Temperatura, Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Materia orgánica, a cargo del Laboratorio de Servicios ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo. El informe de laboratorio se detalla en el **Anexo 2**.

El envío de las muestras se los realizó el martes 23 de Septiembre del 2014 y entregado el informe de los resultados fue el primero de Octubre del 2014 (**Anexo 2**) los parámetros analizados en el laboratorio son: pH, Porcentaje de Humedad, Densidad Aparente, Temperatura, Potasio, Nitrógeno, Fósforo y materia orgánica como se muestra en las figuras a continuación.

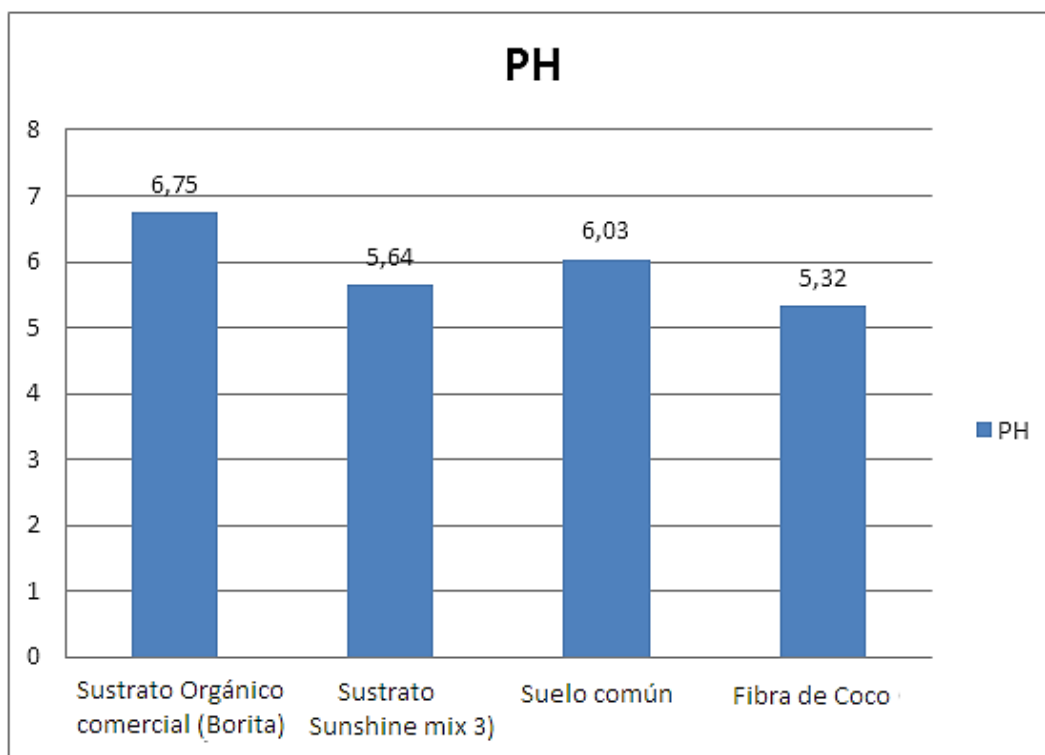


Figura 14. PH de los diferentes sustratos.

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura 14 se muestra el sustrato orgánico comercial (Borita) tiene el pH más alto de 6.75, y la fibra de coco tiene el menor pH de 5.32.

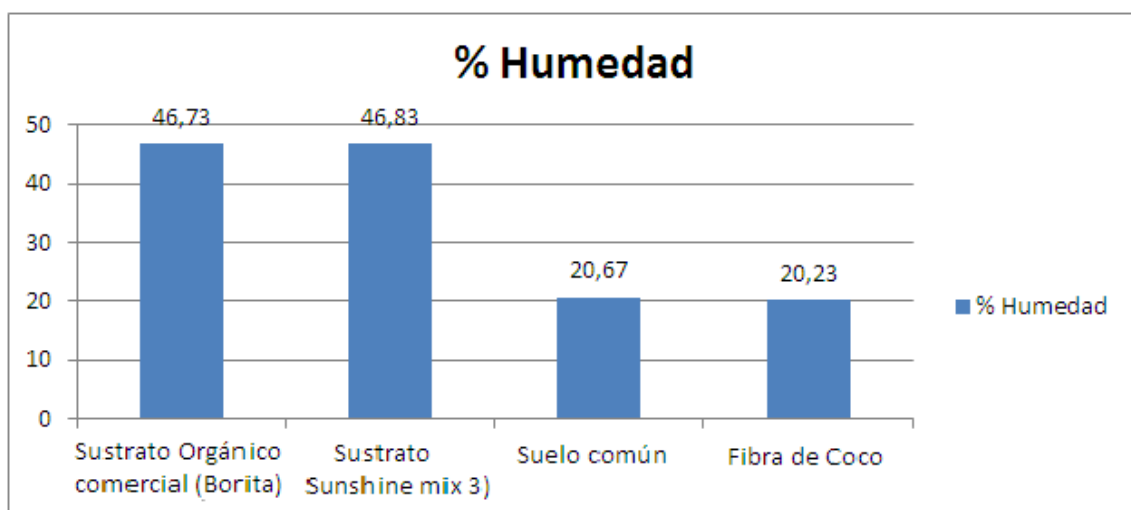


Figura 15. Porcentaje de Humedad de los sustratos.

Fuente: Elaborado por el autor.

En la figura 15 se muestra que el sustrato orgánico (Sunsine mix 3) tiene el porcentaje de humedad más alto de 46,83%, y la fibra de coco tiene el menor porcentaje de humedad de 20,23%.

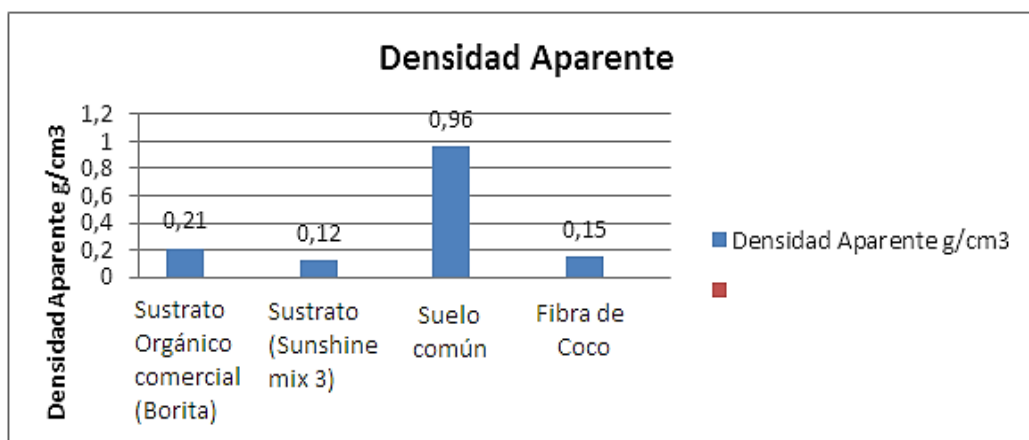


Figura 16. Densidad Aparente de los sustratos.

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura 16 se muestra que el suelo común tiene la Densidad Aparente más alto de 0,96 g/cm³, y el sustrato orgánico comercial (Sunsine mix 3) tiene la menor Densidad Aparente de 0,12 g/cm³.

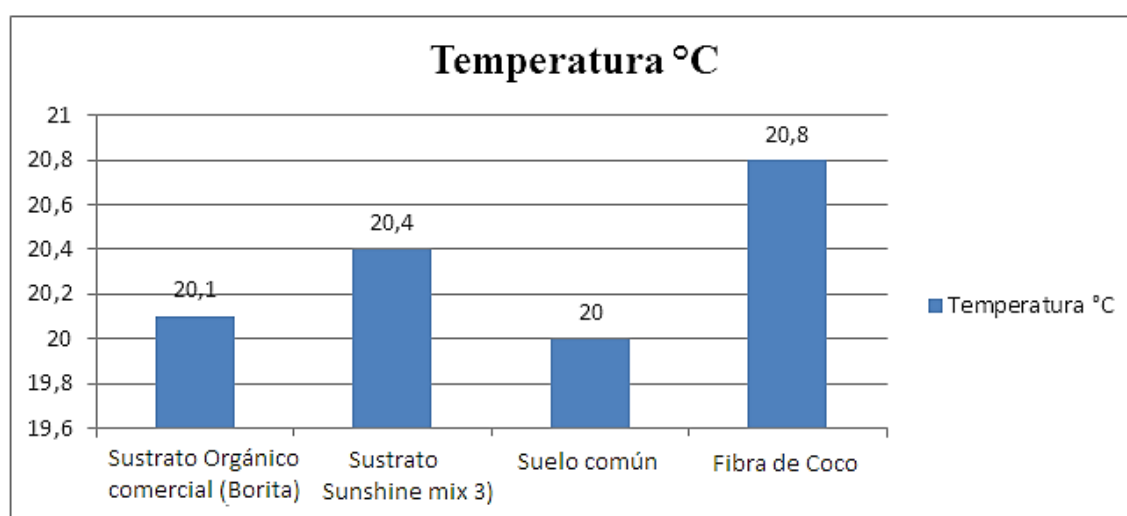


Figura 17. Temperatura de los sustratos.

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura 17 se muestra que la Fibra de coco tiene la temperatura más alta de 20,8 °C, y el suelo común tiene la menor de 20 °C.

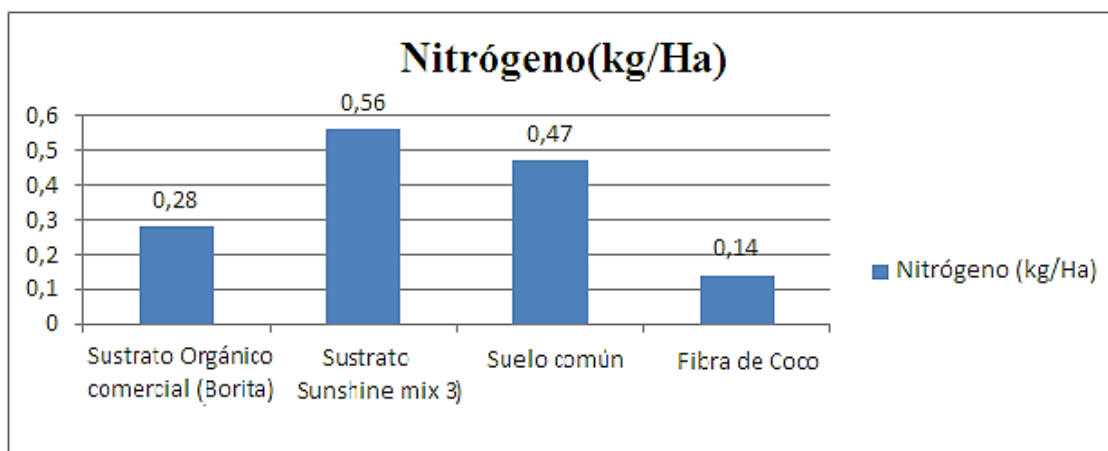


Figura 18. Nitrógeno de los sustratos.

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura 18 se muestra que el sustrato (Sunshine mix 3) tiene la cantidad de Nitrógeno más alta de 0,56 kg/Ha, y la Fibra de coco tiene la menor cantidad de 0,14 kg/Ha.

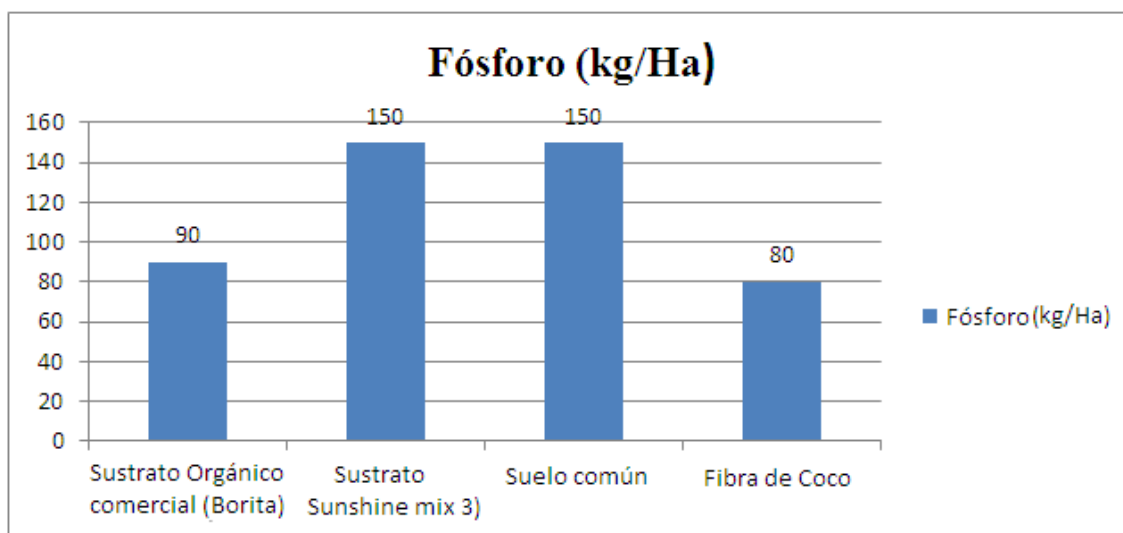


Figura 19. Fósforo de los sustratos.

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura 19 se muestra que el sustrato (Sunshine mix 3) y el suelo común tienen el Fósforo más alto de 150 y 150 kg/Ha, y la Fibra de Coco tiene la menor cantidad de Fósforo de 80 kg/ha.

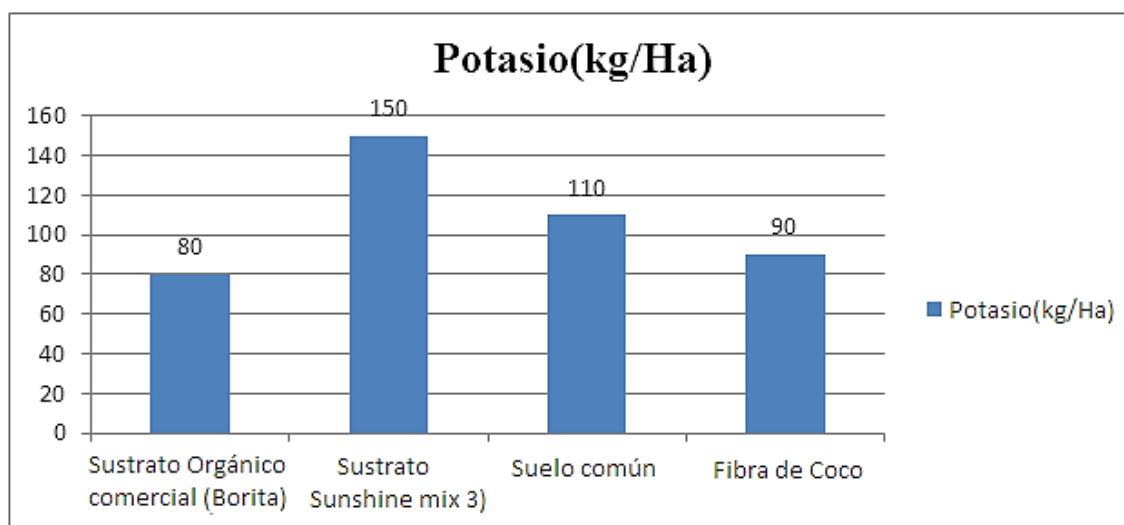


Figura 20. Potasio de los sustratos.

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura 20 se muestra que el sustrato (Sunshine mix 3) tiene la cantidad de Fósforo más alto de 150 kg/Ha, y el sustrato orgánico comercial (Borita) tiene la menor cantidad de 80 kg/Ha.

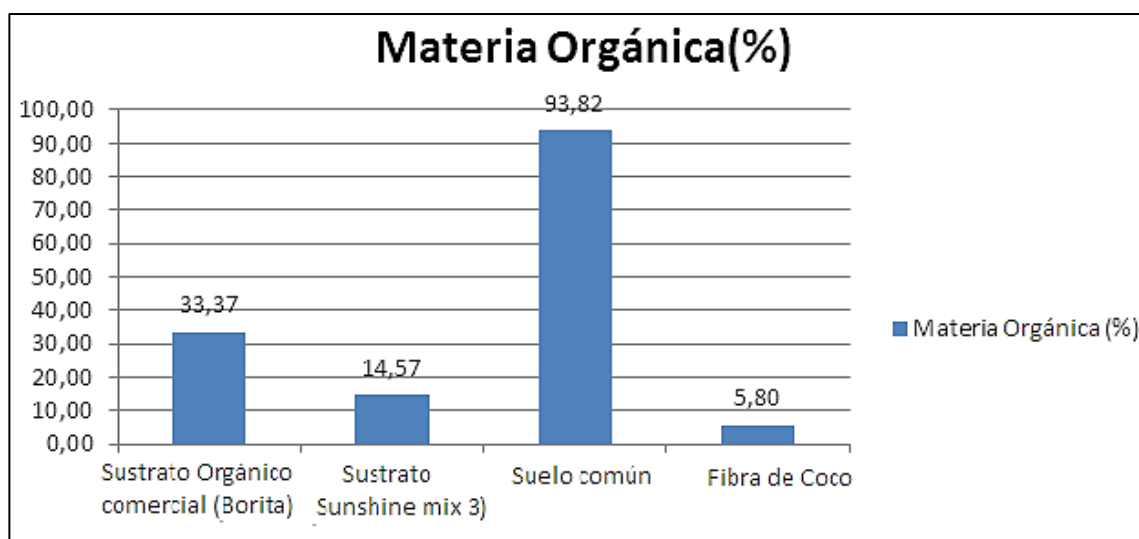


Figura 21. Materia Orgánica de los sustratos.

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura 21 se muestra que el suelo común tiene la cantidad de Materia Orgánica más alta de 93.83 %, y la Fibra de coco tiene la menor cantidad de Materia Orgánica de 5,83%.

Analizando la Figura 15 se muestra que el sustrato (Sunsine mix 3) tiene el porcentaje de humedad más alto de los demás sustratos analizados en el laboratorio y alto en los elementos esenciales del sustrato en Nitrógeno, Fósforo y Potasio para un mejor desarrollo de las especies de estudio, por este motivo se tomó la decisión de utilizar este sustrato en los jardines verticales.

4.2.1. Procesamiento de la medición de las condiciones ambientales como: la temperatura del bulbo húmedo ($T_{bh}^{\circ}\text{C}$), temperatura de bulbo seco ($T_{bs}^{\circ}\text{C}$), temperatura de globo ($T_g^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%Hr), temperatura global de bulbo húmedo ($TGBH^{\circ}\text{C}$) y velocidad del aire (v m/s), en las cabinas de ensayo con prototipo y sin prototipo de jardín vertical en convección natural y forzada.

Procesamiento de las condiciones ambientales en las cabinas de ensayos con el prototipo de jardín vertical de helechos (Nephrolepis exaltada) en convección natural.

Se realizó el registro de los datos promedios, de cada una de las condiciones ambientales medidas por 5 días en convección natural, para un volumen de la cabina de $15,35\text{m}^3$ y un área de 4 m^2 de jardín.

Tabla 3. Registro de datos con el prototipo de jardín vertical de helechos en convección natural ($v=0$ m/s).

HORA	Tbh°C Prom con J.	Tbs°C Prom con J.	Tg°C Prom con J.	%.HR Prom con J.	TGBHi°C con J.
9	14,78	15,64	15,78	77,2	15,08
10	14,82	15,62	16,14	82,8	15,216
11	15,26	16,08	16,6	82,8	15,662
12	15,88	16,78	17,66	80	16,414
14	16,38	17,22	17,62	82	16,752
15	17,18	19	18,9	75,4	17,696
16	16,82	18,2	18,36	80,2	17,282
17	16,82	18,32	18,48	81	17,318

Fuente: Elaborado por el autor. (Enero 2015).

Procesamiento de las condiciones ambientales sin prototipo de jardín vertical de helechos en convección natural.

Se realizó el registro los datos promedios, de cada una de las condiciones ambientales medidas por 5 días en convección natural.

Tabla 4. Registro de datos sin el prototipo de jardín vertical de helechos en convección natural ($v=0$ m/s)

HORA	Tbh°C Prom sin J.	Tbs°C Prom sin J.	Tg°C Prom sin J.	%.HR Prom sin J.	TGBHi°C sin J.
9	14,56	15,72	15,98	74,6	14,986
10	14,74	16,02	16,58	78,6	15,292
11	15,06	16,64	17,36	76,2	15,75
12	15,66	17,38	18,28	74,4	16,446
14	16,16	17,88	18,58	74,6	16,886
15	16,94	19,28	19,8	70,4	17,798
16	16,88	19,06	19,62	71,4	17,702
17	16,8	19,2	20,04	70,6	17,772

Fuente: Elaborado por el autor. (Enero 2015).

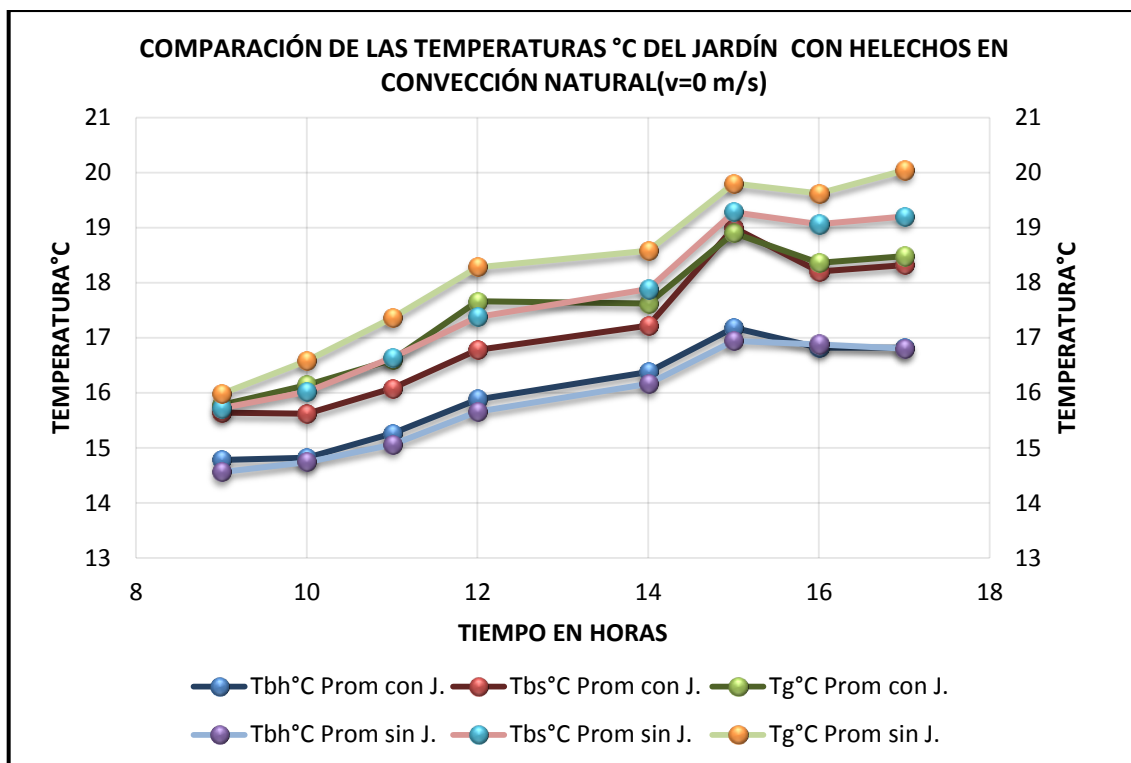


Figura 22. Comparación de las temperaturas °C del jardín con helechos en convección natural ($v=0$ m/s).

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura No. 22, se analizaron las temperaturas promedios de la semana, desde las 09h00 hasta las 17h00, de la cabina diseñada con helechos y la cabina sin jardín en convección natural, para un volumen de cabina de 35 m^3 y una área de jardín de 4 m^2 , se observa que la temperatura de bulbo húmedo ($T_{bh}^{\circ}\text{C}$), temperatura que evalúa la velocidad aproximada a la que el trabajador está perdiendo agua a causa de su exposición al calor; en la cabina con jardín la temperatura de bulbo húmedo siempre se encuentra en un valor superior a la cabina sin jardín tomando un valor máximo de 17.18°C en la cabina con jardín en comparación de 16.16°C en la cabina sin jardín dando una diferencia de 1.02°C a las 15h00, un valor mínimo de 14.78°C en la cabina con jardín en comparación de 14.56°C en la cabina sin jardín, dando una diferencia de 0.22°C a las 09h00, esto quiere decir que el trabajador empezará a perder agua a temperaturas más altas.

La temperatura de globo promedio ($T_g^{\circ}\text{C}$), temperatura a la que se encuentra sometido el trabajador a causa de la radiación; en el caso de la cabina con jardín, esta se encuentra por debajo de la temperatura de globo de la cabina sin jardín, con un valor máximo de 18.9°C en la cabina con jardín en comparación de 19.8°C en la cabina sin jardín, dando una diferencia de 0.9°C a las 15h00 y un valor mínimo de 15.78°C en la cabina con jardín en comparación de 15.98°C en la cabina sin jardín a las 09h00; esto quiere decir que la radiación solar es menor en las cabinas con jardín, cabe mencionar que estas temperaturas son las que influyen en el cálculo de la temperatura global de bulbo húmedo ($TGBH^{\circ}\text{C}$), que regula el confort termohigrométrico.

La temperatura de bulbo seco ($T_{bs}^{\circ}\text{C}$), temperatura tomada con el termómetro convencional para tener un parámetro de comparación frente a las otras dos; en la cabina sin jardín, se observa valores más altos que en la cabina con jardín, excepto a las 15h00 que los dos valores son semejantes; esto indica que los jardines verticales si regulan la temperatura.

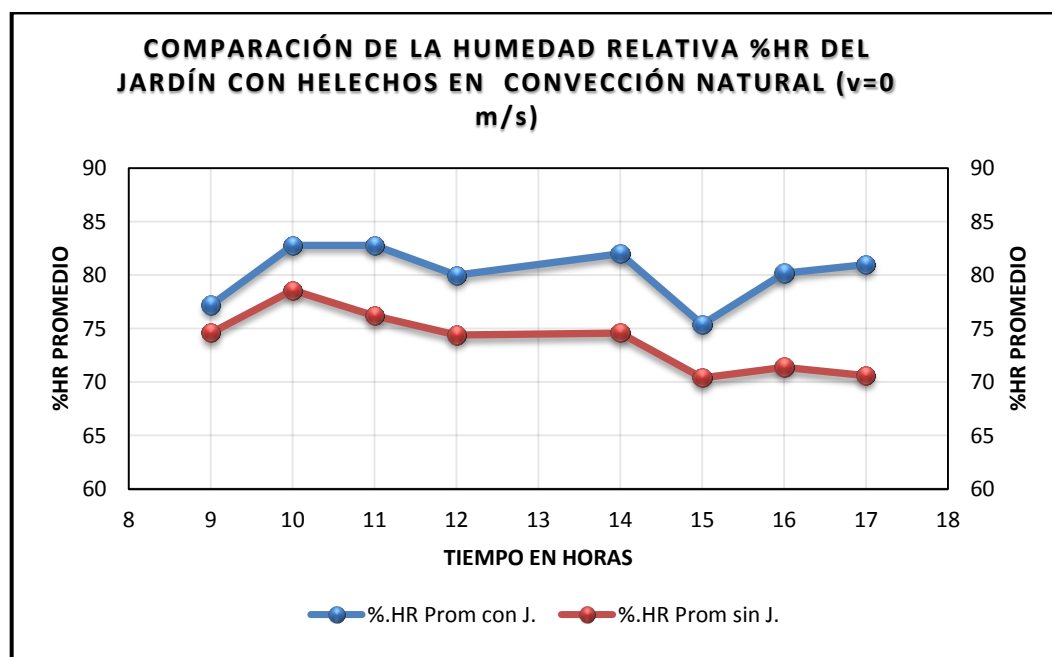


Figura 23. Comparación de la humedad relativa %HR del jardín con helechos en convección natural ($v=0$ m/s).

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura No. 23. La humedad relativa (%HR) de la cabina con jardín se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 82.8% de humedad en la cabina con jardín en comparación de 78.6% de humedad en la cabina sin jardín, dando una diferencia de 10.6% de humedad a las 10h00 y un valor mínimo de 75.4 % de humedad en la cabina con jardín en comparación de 70.4% de humedad a las 15h00, lo que me indica que en las cabinas con jardín aumenta el % de humedad, por la transpiración de las plantas.

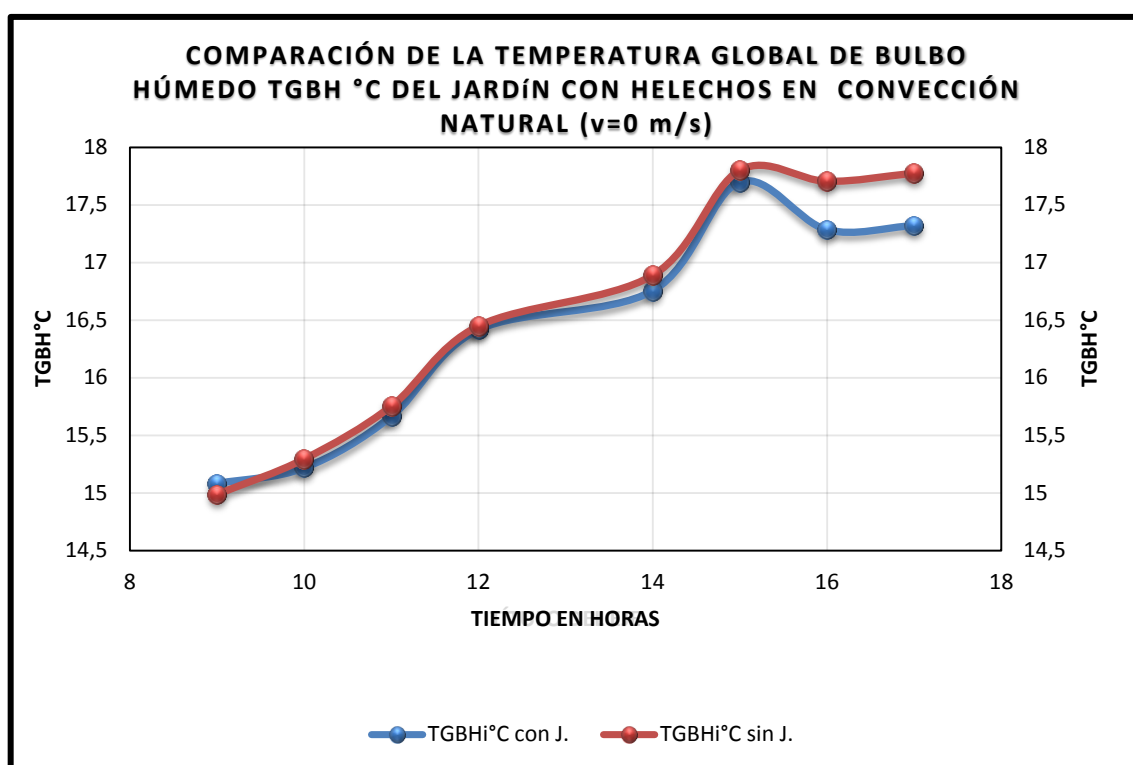


Figura 24. Comparación de la temperatura global de bulbo húmedo TGBH °C del jardín con helechos en convección natural ($v=0$ m/s).

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura No 24. La temperatura global de bulbo húmedo (TGBH°C) de la cabina con jardín se encuentra por debajo de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 17.79°C en la cabina con jardín en comparación de 17.69°C en la cabina sin jardín dando una diferencia de 0.1°C a las 15h00 y un valor mínimo de 15.08°C en la cabina con jardín en comparación de 14.98°C de la cabina sin jardín a las 09h00, a partir de las

16h00 se observa que la temperatura global de bulbo húmedo de la cabina con jardín se ubica por debajo de la cabina sin jardín, esto se debe posiblemente a un insuficiente tiempo de regulación del equipo.

Sacando la diferencia de los promedios generales del $TGBH^{\circ}C = 16.43$ de la cabina con jardín y un $TGBH^{\circ}C = 16.58$ en cabina sin jardín encontramos una diferencia de $-0.15^{\circ}C$, el valor negativo se debe a una mala calibración en el equipo.

Procesamiento de las condiciones ambientales de las cabinas de ensayos con el prototipo de jardín vertical de helechos en convección forzada.

Se realizó el registro los datos promedios, de cada una de las condiciones ambientales medidas por 5 días en convección forzada.

Tabla 5. Registro de datos con el prototipo de jardín vertical de helechos en convección forzada

HORA	Tbh $^{\circ}C$ Prom con J.	Tbs $^{\circ}C$ Prom con J.	Tg $^{\circ}C$ Prom con J.	%.HR Prom con J.	TGBHi $^{\circ}C$ con J.	Veloc. con J.	m/s
9	15,32	15,46	15,84	84,8	15,476		0,20
10	15,58	15,88	16,28	88,4	15,79		0,20
11	16,04	16,46	16,96	87,6	16,316		0,20
12	16,16	16,88	17,54	84,4	16,574		0,20
14	16,86	18,24	18,76	78,8	17,43		0,20
15	17,4	19,18	19,64	76,6	18,072		0,20
16	18,36	19,86	20,36	77,6	18,96		0,20
17	18,28	20,28	20,52	72,8	18,952		0,20
					PROM		0,20

Fuente: Elaborado por el autor. (Enero 2015).

Procesamiento de las condiciones ambientales de las cabinas de ensayos sin el prototipo de jardín vertical de helechos en convección forzada.

Se realizó el registro de los datos promedios, de cada una de las condiciones ambientales medidas por 5 días en convección forzada.

Tabla 6. Registro de datos sin el prototipo de jardín vertical de helechos en convección forzada

HORA	Tbh°C Prom sin J.	Tbs°C Prom sin J.	Tg°C Prom sin J.	%.HR Prom sin J.	TGBHi°C sin J.	Veloc. m/s sin J.
9	14,22	16,2	16,74	74,4	14,976	0,20
10	14,3	16,82	17,22	72,2	15,176	0,20
11	14,5	17,5	18	68,2	15,55	0,20
12	14,4	18,42	19,16	60,8	15,828	0,20
14	15,34	20,26	21,2	57,4	17,098	0,20
15	16,32	21,84	22,66	53,8	18,222	0,20
16	16,96	22,06	22,68	54,8	18,676	0,20
17	16,18	21,82	22,08	52,4	17,95	0,20
					PROM	0,20

Fuente: Elaborado por el autor. (Enero 2015).

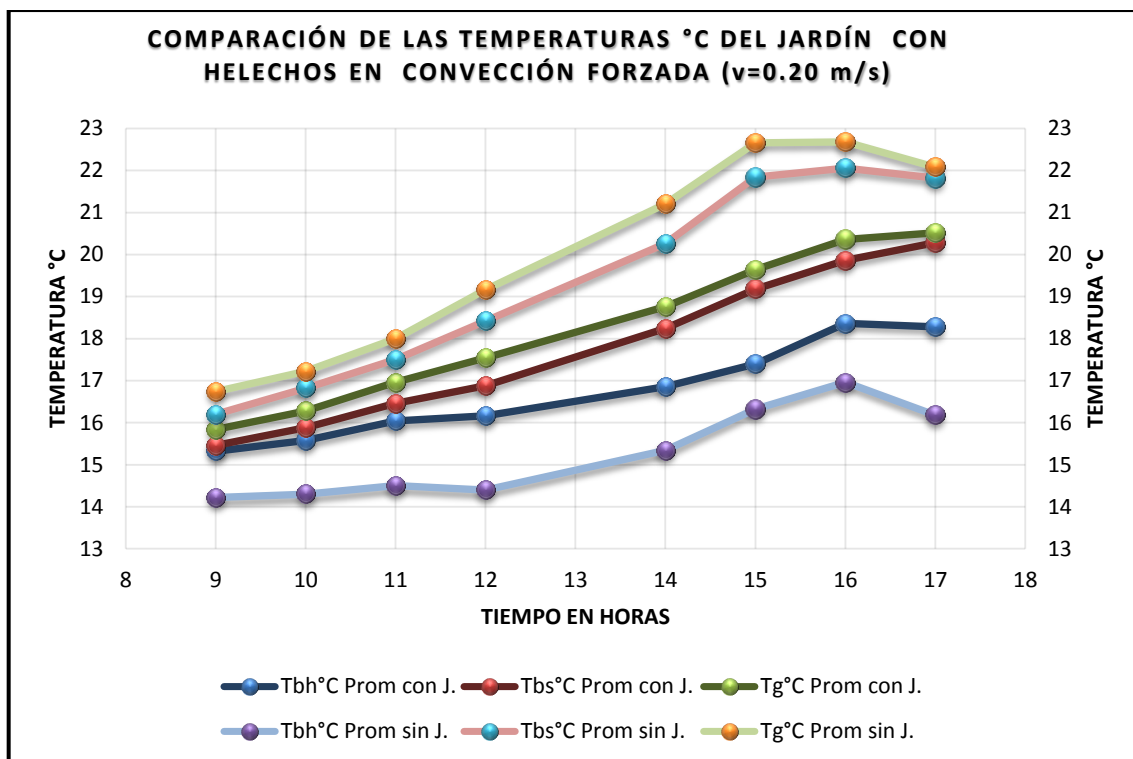


Figura 25. Comparación de las temperaturas °C del jardín con helechos en convección forzada ($v=0.20$ m/s).

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura No. 25, se analizaron las temperaturas promedios de la semana, desde las 09h00 hasta las 17h00, de la cabina diseñada con helechos y la cabina sin jardín en convección forzada con una velocidad del aire de (0.20m/s), para un volumen de cabina de 35 m^3 y una área de jardín de 4 m^2 , se observa que la temperatura de bulbo húmedo ($T_{bh}^{\circ}\text{C}$), temperatura que evalúa la velocidad aproximada a la que el trabajador está perdiendo agua a causa de su exposición al calor; en la cabina con jardín la temperatura de bulbo húmedo siempre se encuentra en un valor superior a la cabina sin jardín tomando un valor máximo de 18.36°C en la cabina con jardín en comparación de 16.96°C en la cabina sin jardín dando una diferencia de 1.40°C a las 15h00, un valor mínimo de 14.78°C en la cabina con jardín en comparación de 14.56°C en la cabina sin jardín, dando una diferencia de 0.22°C a las 09h00, esto quiere decir que el trabajador empezará a perder agua a temperaturas más altas.

La temperatura de globo promedio ($T_g^{\circ}\text{C}$), temperatura a la que se encuentra sometido el trabajador a causa de la radiación; en el caso de la cabina con jardín, esta se encuentra por debajo de la temperatura de globo de la cabina sin jardín, con un valor máximo de 20.52°C en la cabina con jardín a las 17h00, en comparación de 22.66°C en la cabina sin jardín a las 15h00, dando una diferencia de 2.14°C y un valor mínimo de 15.84°C en la cabina con jardín en comparación de 16.74°C en la cabina sin jardín a las 09h00; esto quiere decir que la radiación solar es menor en las cabinas con jardín, cabe mencionar que estas temperaturas son las que influyen en el cálculo de la temperatura global de bulbo húmedo ($T_{GBH}^{\circ}\text{C}$), que regula el confort termohigrométrico.

La temperatura de bulbo seco ($T_{bs}^{\circ}\text{C}$), temperatura tomada con el termómetro convencional para tener un parámetro de comparación frente a las otras dos; en la cabina sin jardín, se observa valores más altos que en la cabina con jardín, esto indica que los jardines verticales si regulan la temperatura.

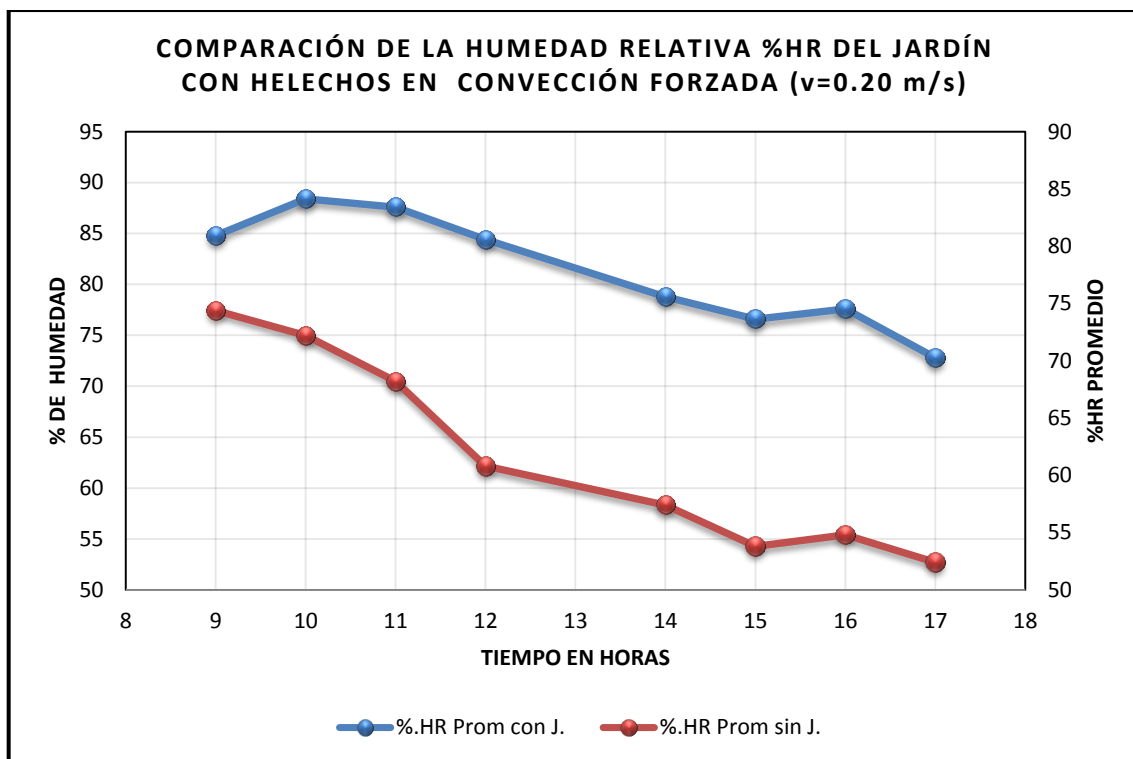


Figura 26. Comparación de la humedad relativa %HR del jardín con helechos en convección forzada ($v=0.20$ m/s).

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura No. 26. La humedad relativa (%HR) de la cabina con jardín se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 88.4% de humedad en la cabina con jardín a las 10h00 en comparación de 74.4% de humedad en la cabina sin jardín a las 09h00 y un valor mínimo de 72.8 % de humedad en la cabina con jardín en comparación de 52.4 % de humedad a las 17h00, lo que me indica que en las cabinas con jardín aumenta el % de humedad, por la transpiración de las plantas.

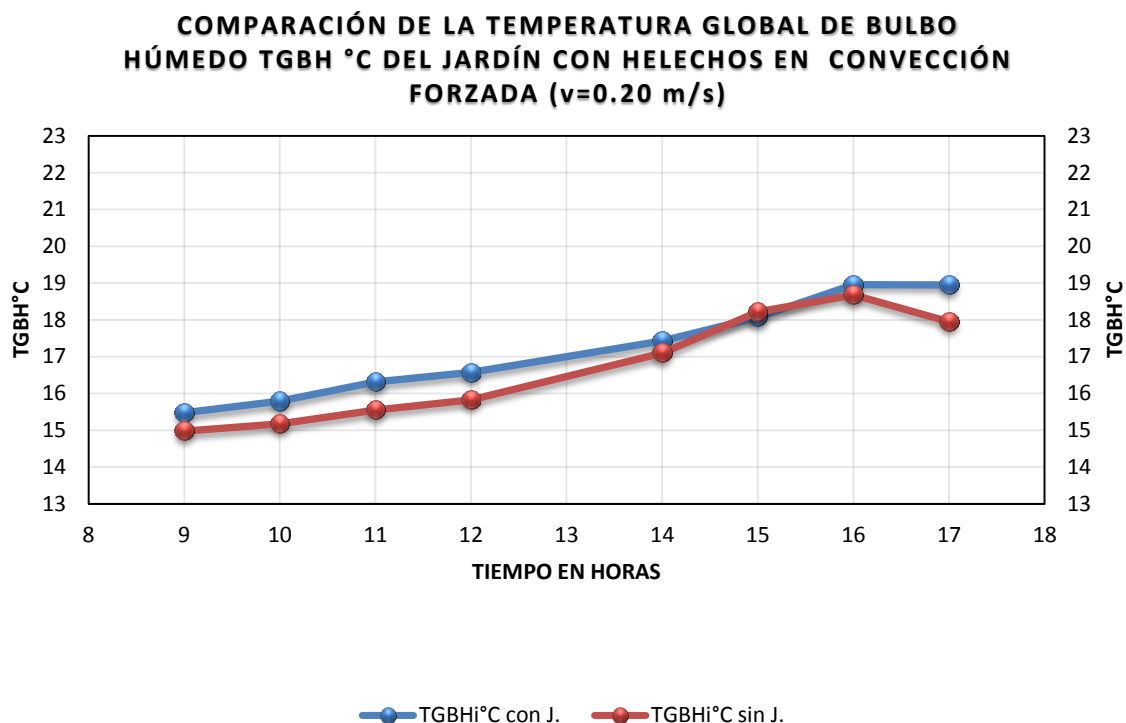


Figura 27. Comparación de la temperatura global de bulbo húmedo TGBH °C del jardín con helechos en convección forzada ($v=0.20$ m/s).

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura No 27. La temperatura global de bulbo húmedo (TGBH°C) de la cabina con jardín se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 18.95°C en la cabina con jardín en comparación de 17.95°C en la cabina sin jardín dando una diferencia de 1°C a las 17h00 y un valor mínimo de 15.47°C en la cabina con jardín en comparación de 14.97 de la cabina sin jardín a las 09h00, esto indica que la cabina con jardín si regula el TGBH°C.

Sacando la diferencia de los promedios generales del TGBH°C = 17.2 de la cabina con jardín y un TGBH°C = 16.68 en cabina sin jardín encontramos una diferencia de 0.52°C.

Procesamiento de las condiciones ambientales de las cabinas de ensayos con el prototipo de jardín vertical de plantas asociadas en convección natural.

Se realizó el registro de los datos promedios, de cada una de las condiciones ambientales medidas por 5 días en convección natural.

Tabla 7. Registro de datos con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección natural ($v=0$ m/s)

HORA	Tbh°C Prom con J.	Tbs°C Prom con J.	Tg°C Prom con J.	%.HR Prom con J.	TGBHi°C con J.
9	15,42	15,92	16,5	80,4	15,744
10	15,84	16,32	16,7	83	16,098
11	16,76	15,06	18,06	83,2	17,15
12	17,04	17,94	19,06	78,6	17,646
14	18,16	19,52	20,94	76,2	18,994
15	18,22	19,78	20,96	73,2	19,042
16	18,5	20,54	21,18	71,8	19,304

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2015).

Procesamiento de las condiciones ambientales de las cabinas de ensayos sin el prototipo de jardín vertical de plantas asociadas, en convección natural.

Se realizó el registro de los datos promedios, de cada una de las condiciones ambientales medidas por 5 días en convección natural.

Tabla 8. Registro de datos sin el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección natural ($v=0$ m/s)

HORA	Tbh°C Prom sin J.	Tbs°C Prom sin J.	Tg°C Prom sin J.	%HR Prom sin J.	TGBHi°C sin J.
9	14,64	16,3	17,04	71,2	15,36
10	14,96	16,82	17,62	70,6	15,758
11	15,5	17,82	18,94	68	16,532
12	15,92	18,66	19,98	65,4	17,138
14	17	20,4	22,44	60,8	18,632
15	17	21,16	22,7	58	18,71
16	17,32	21,6	23,02	55,4	19,03
17	17,24	21,66	22,86	53,4	18,926

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2015).

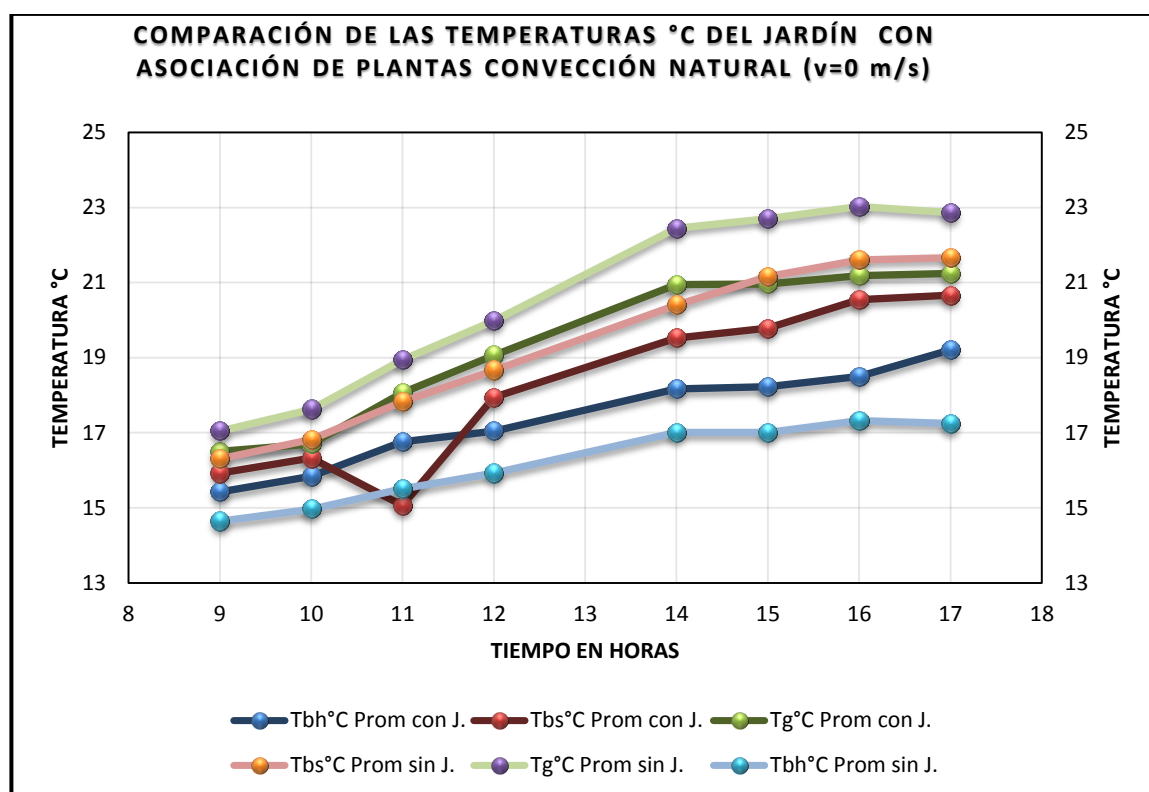


Figura 28. Comparación de las temperaturas °C del jardín con asociación de plantas convección natural ($v=0$ m/s).

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura No. 28, se analizaron las temperaturas promedios de la semana, desde las 09h00 hasta las 17h00, de la cabina diseñada con asociación de plantas y la cabina sin jardín en convección natural, con una velocidad del aire de (0 m/s), para un volumen de cabina de 35 m^3 y una área de jardín de 4 m^2 , se observa que la temperatura de bulbo húmedo ($T_{bh}^{\circ}\text{C}$), temperatura que evalúa la velocidad aproximada a la que el trabajador está perdiendo agua a causa de su exposición al calor; en la cabina con jardín la temperatura de bulbo húmedo siempre se encuentra en un valor superior a la cabina sin jardín tomando un valor máximo de 19.2°C en la cabina con jardín en comparación de 17.24°C en la cabina sin jardín dando una diferencia de 1.96°C a las 17h00, un valor mínimo de 15.42°C en la cabina con jardín en comparación de 14.64°C en la cabina sin jardín, dando una diferencia de 0.78°C a las 09h00, esto quiere decir que el trabajador empezará a perder agua a temperaturas más altas.

La temperatura de globo promedio ($T_g^{\circ}\text{C}$), temperatura a la que se encuentra sometido el trabajador a causa de la radiación; en el caso de la cabina con jardín, esta se encuentra por debajo de la temperatura de globo de la cabina sin jardín, con un valor máximo de 21.66°C en la cabina con jardín a las 17h00, en comparación de 22.86°C en la cabina sin jardín a las 17h00, dando una diferencia de 1.20°C y un valor mínimo de 16.30°C en la cabina con jardín en comparación de 17.04°C en la cabina sin jardín a las 09h00; esto quiere decir que la radiación solar es menor en las cabinas con jardín, cabe mencionar que estas temperaturas son las que influyen en el cálculo de la temperatura global de bulbo húmedo ($T_{GBH}^{\circ}\text{C}$), que regula el confort termohigrométrico.

La temperatura de bulbo seco ($T_{bs}^{\circ}\text{C}$), temperatura tomada con el termómetro convencional para tener un parámetro de comparación frente a las otras dos; en la cabina sin jardín, se observa valores más altos que en la cabina con jardín, esto indica que los jardines verticales si regulan la temperatura.

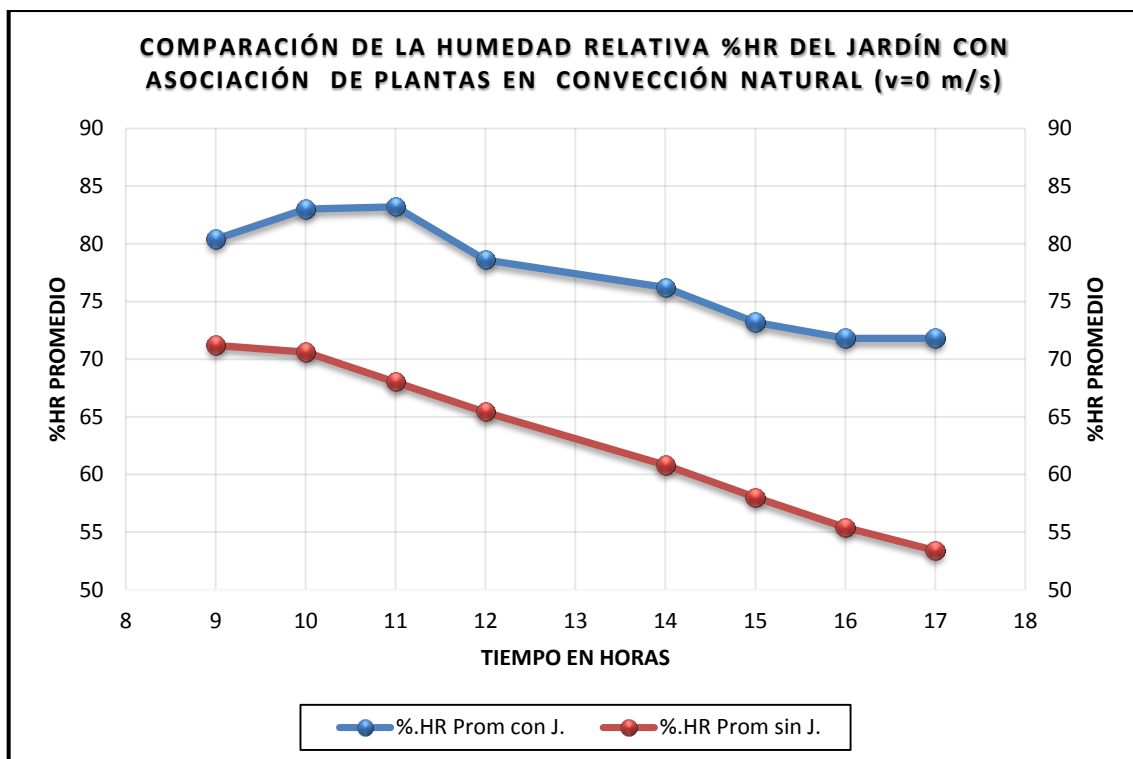


Figura 29. Comparación de la humedad relativa %HR del jardín con asociación de plantas en convección natural ($v=0$ m/s).

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura No. 29. La humedad relativa (%HR) de la cabina con jardín se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 83.2% de humedad en la cabina con jardín a las 11h00 en comparación de 71.2% de humedad en la cabina sin jardín a las 09h00 y un valor mínimo de 71.8 % de humedad en la cabina con jardín en comparación de 53.4% de humedad a las 17h00, lo que me indica que en las cabinas con jardín aumenta el % de humedad, por la transpiración de las plantas.

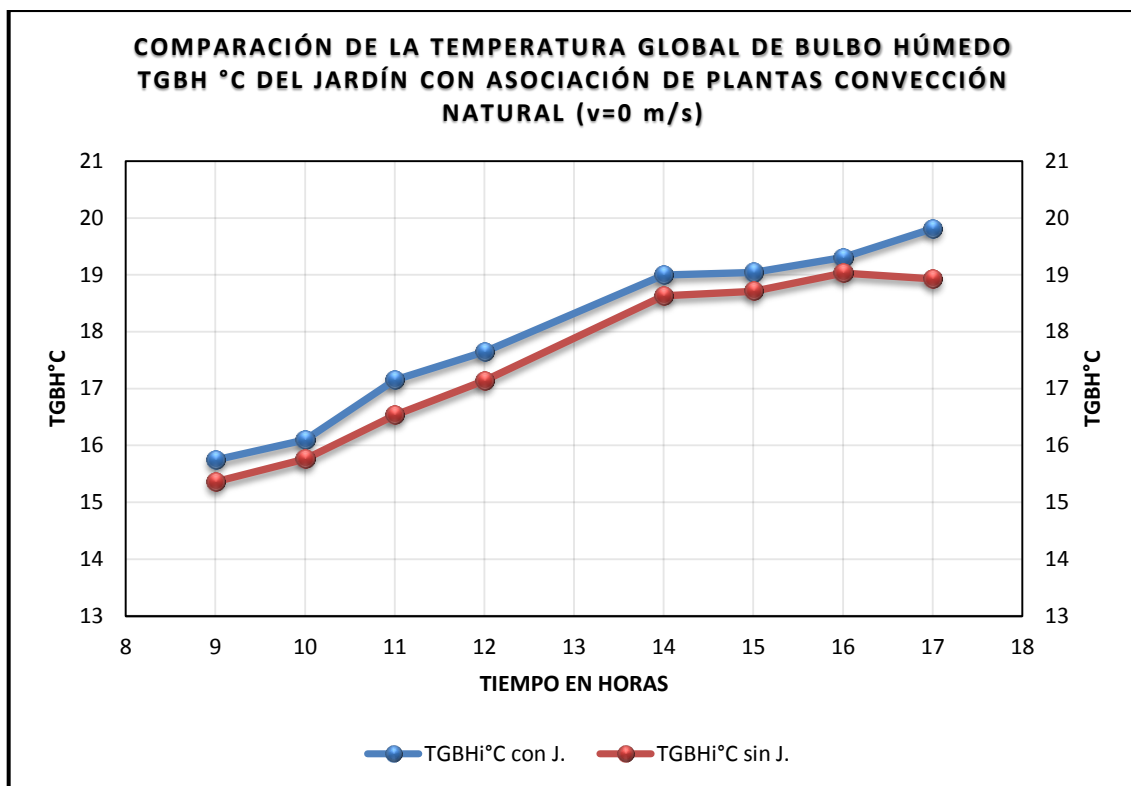


Figura 30. Comparación de la temperatura global de bulbo húmedo TGBH °C del jardín con asociación de plantas en convección natural ($v=0$ m/s).

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura No 30. La temperatura global de bulbo húmedo (TGBH^{°C}) de la cabina con jardín se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 19.81^{°C} en la cabina con jardín en comparación de 18.93^{°C} en la cabina sin jardín dando una diferencia de 0.88^{°C} a las 17h00 y un valor mínimo de 15.7^{°C} en la cabina con jardín en comparación de 15.36 de la cabina sin jardín a las 09h00, esto indica que la cabina con jardín si regula el TGBH^{°C}.

Sacando la diferencia de los promedios generales del TGBH^{°C} = 17.97 de la cabina con jardín y un TGBH^{°C} = 17.51 en la cabina sin jardín encontramos una diferencia de 0.46^{°C}.

Procesamiento de las condiciones ambientales de la cabina de ensayo con el prototipo de jardín vertical de plantas asociadas en convección forzada.

Se realizó el registro de los datos promedios, de cada una de las condiciones ambientales medidas por 5 días en convección forzada.

Tabla 9. Registro de datos con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección forzada.

HORA	Tbh°C Prom con J.	Tbs°C Prom con J.	Tg°C Prom con J.	%.HR Prom con J.	TGBHi°C con J.	Veloc. m/s con J.
9	15,54	16,24	16,25	82,2	15,753	0.20
10	16,12	16,58	17,26	85,4	16,462	0.20
11	16,4	17,2	17,82	84,6	16,826	0.20
12	16,68	17,9	18,76	81,4	17,304	0.20
14	17,8	19,78	20,72	70,8	18,676	0.20
15	18,52	20,46	21,16	74,2	19,312	0.20
16	19,08	20,92	21,6	74	19,836	0.20
17	18,9	20,94	21,42	71,2	19,656	0.20
					PROM	0.20

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2015).

Procesamiento de las condiciones ambientales de la cabina de ensayo sin el prototipo de jardín vertical de plantas asociadas en convección forzada.

Se realizó el registro de los datos promedios, de cada una de las condiciones ambientales medidas por 5 días en convección forzada.

Tabla 10. Registro de datos sin el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección forzada

HORA	Tbh°C Prom sin J.	Tbs°C Prom sin J.	Tg°C Prom sin J.	%HR Prom sin J.	TGBHi°C sin J.	Veloc. m/s sin J.
9	14,7	17	17,32	72,6	15,486	0.20
10	14,86	17,06	17,98	71	15,796	0.20
11	15,02	18,18	18,64	67,6	16,106	0.20
12	15,32	19,26	19,76	62,8	16,652	0.20
14	16,46	21,6	22,1	56,4	18,152	0.20
15	17,48	22,18	23,02	54,2	19,142	0.20
16	17	22,86	23,42	51,4	18,926	0.20
17	16,74	22,66	22,98	50,8	18,612	0.20
					PROM	0.20

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2015).

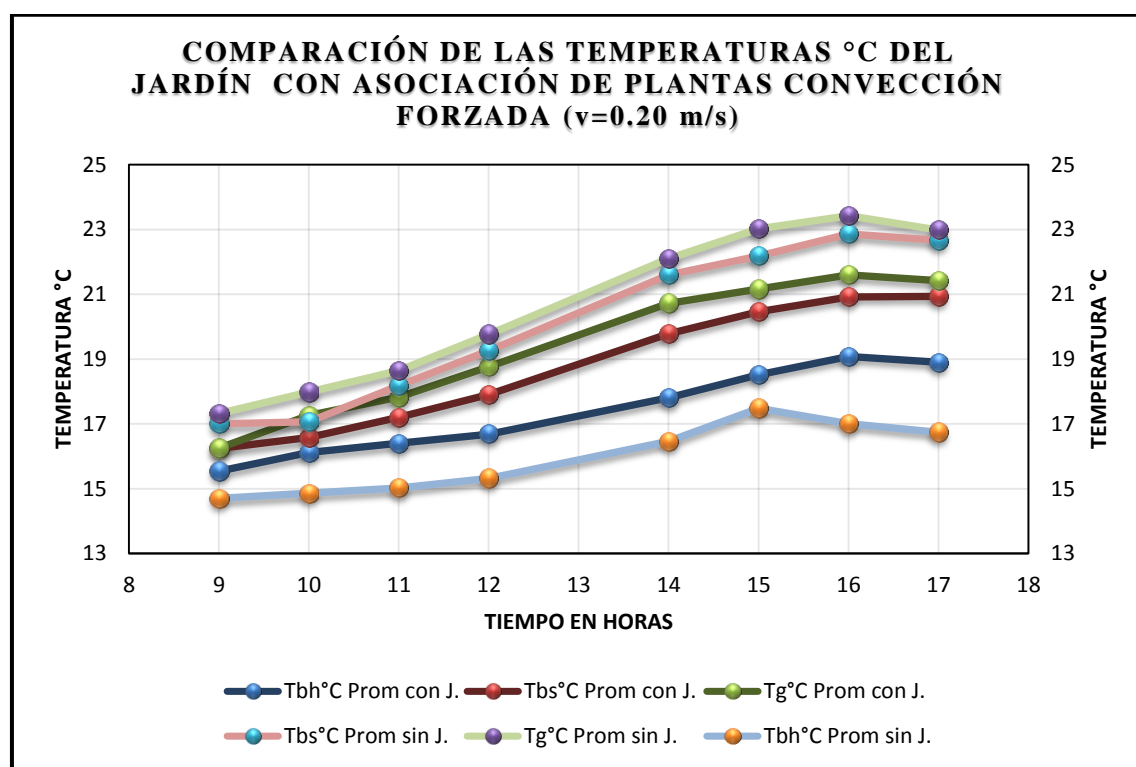


Figura 31. Comparación de las temperaturas °C del jardín con asociación de plantas convección forzada ($v=0,20$ m/s).

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura No. 31, se analizaron las temperaturas promedios de la semana, desde las 09h00 hasta las 17h00, de la cabina diseñada con asociación de plantas y la cabina sin jardín en convección forzada con una velocidad del aire de (0,20 m/s), para un volumen de cabina de 35 m³ y una área de jardín de 4 m², se observa que la temperatura de bulbo húmedo (Tbh°C), temperatura que evalúa la velocidad aproximada a la que el trabajador está perdiendo agua a causa de su exposición al calor; en la cabina con jardín la temperatura de bulbo húmedo siempre se encuentra en un valor superior a la cabina sin jardín tomando un valor máximo de 19.08°C en la cabina con jardín a las 16h00 en comparación de 17.48°C en la cabina sin jardín a las 15h00 dando una diferencia de 1.60°C, un valor mínimo de 15.54°C en la cabina con jardín en comparación de 14,70°C en la cabina sin jardín, dando una diferencia de 0.84°C a las 09h00, esto quiere decir que el trabajador empezará a perder agua a temperaturas más altas.

La temperatura de globo promedio (Tg°C), temperatura a la que se encuentra sometido el trabajador a causa de la radiación; en el caso de la cabina con jardín esta se encuentra por debajo de la temperatura de globo de la cabina sin jardín, con un valor máximo de 21.6°C en la cabina con jardín a las 16h00, en comparación de 23.42°C en la cabina sin jardín a las 16h00, dando una diferencia de 1.82°C y un valor mínimo de 16.25°C en la cabina con jardín en comparación de 17.32°C en la cabina sin jardín a las 09h00; esto quiere decir que la radiación solar es menor en las cabinas con jardín, cabe mencionar que estas temperaturas son las que influyen en el cálculo de la temperatura global de bulbo húmedo (TGBH°C), que regula el confort termohigrométrico.

La temperatura de bulbo seco (Tbs°C), temperatura tomada con el termómetro convencional para tener un parámetro de comparación frente a las otras dos; en la cabina sin jardín, se observa valores más altos que en la cabina con jardín, esto indica que los jardines verticales si regulan la temperatura.

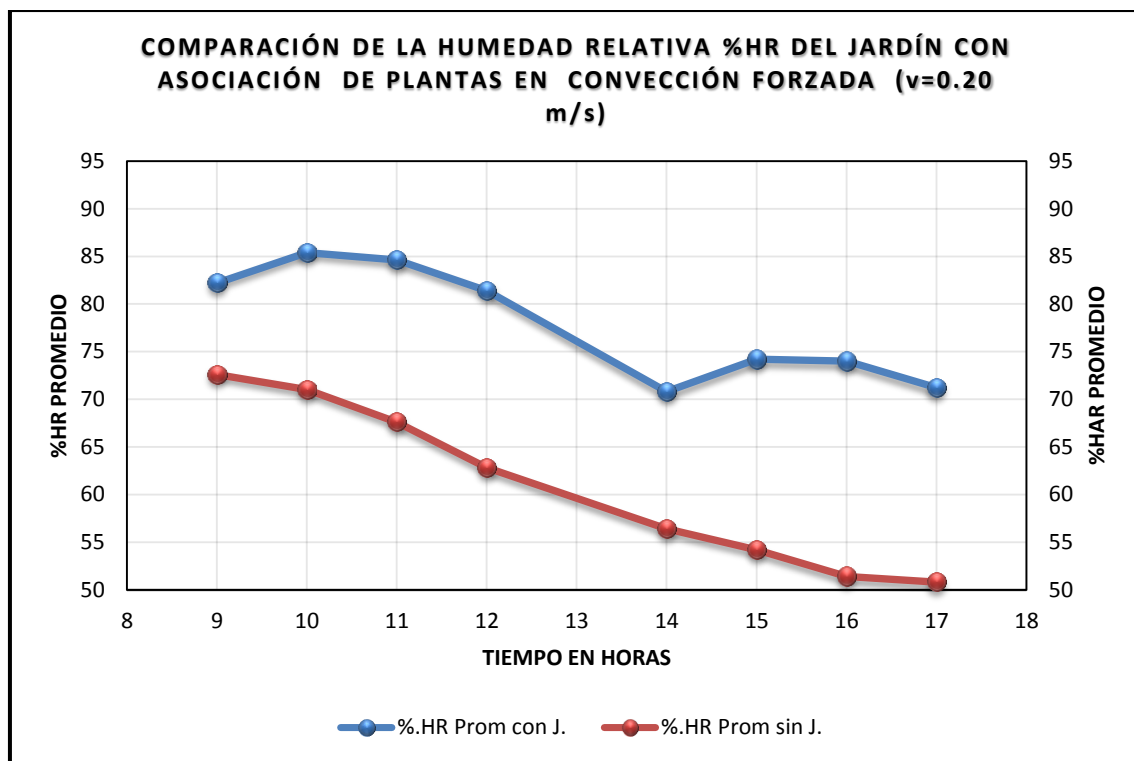


Figura 32. Comparación de la humedad relativa %HR del jardín con asociación de plantas en convección forzada ($v=0.20$ m/s).

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura No. 32. La humedad relativa (%HR) de la cabina con jardín se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 85.4% de humedad en la cabina con jardín a las 10h00 en comparación de 72.6% de humedad en la cabina sin jardín a las 09h00 y un valor mínimo de 71.2 % de humedad en la cabina con jardín en comparación de 50.8 % de humedad a las 17h00, lo que me indica que en las cabinas con jardín aumenta el % de humedad, por la transpiración de las plantas.

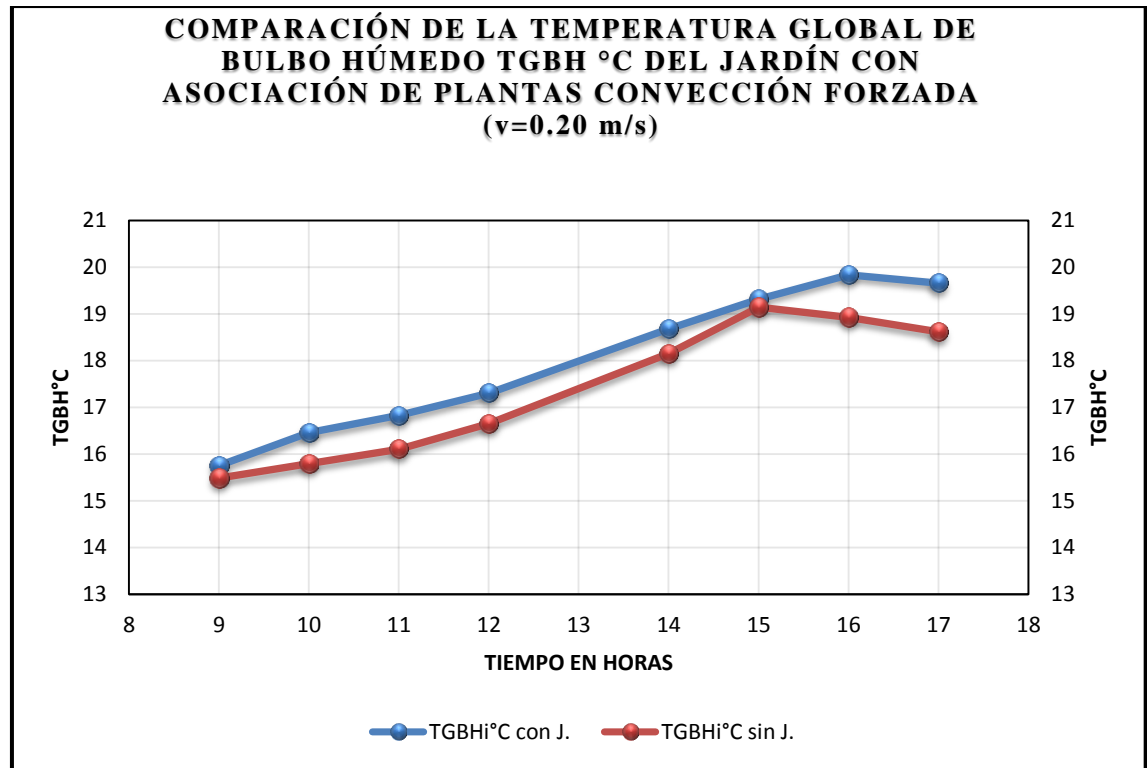


Figura 33. Comparación de la temperatura global de bulbo húmedo TGBH °C del jardín con asociación de plantas en convección forzada ($v=0.20$ m/s).

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura No 33. La temperatura global de bulbo húmedo (TGBH °C) de la cabina con jardín se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 19.84 °C en la cabina con jardín a las 16h00, en comparación de 19.14 °C en la cabina sin jardín a las 15h00, dando una diferencia de 0.7 °C, y un valor mínimo de 15.75 °C en la cabina con jardín en comparación de 15.49 de la cabina sin jardín a las 09h00, esto indica que la cabina con jardín si regula el TGBH °C.

Sacando la diferencia de los promedios generales del TGBH °C = 17.98 de la cabina con jardín y un TGBH °C = 17.36 en cabina sin jardín encontramos una diferencia de 0.62 °C.

4.2.2. Segundo procesamiento de las condiciones ambientales de las cabinas de ensayos con el prototipo de jardín vertical de plantas asociadas en convección natural y forzada, aumentando el área de jardín.

Procesamiento de las condiciones ambientales en las cabinas de ensayos con el prototipo de jardín vertical de plantas asociadas, en convección natural con mayor área de jardín.

Se realizó el registro los datos promedios, de cada una de las condiciones ambientales medidas por 5 días en convección natural, para un volumen de la cabina de $15,35 \text{ m}^3$ aumentado el área a 8 m^2 de jardín.

Tabla 11. Segundo registro de datos con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección natural ($v=0 \text{ m/s}$)

HORA	Tbh°C Prom con J.	Tbs°C Prom con J.	Tg°C Prom con J.	%.HR Prom con J.	TGBHi°C con J.
9	13,4	17,7	17,31	55,5	14,573
10	13,3	16,6	20,45	57,5	15,445
11	14,85	19,7	20,05	60	16,41
12	15,3	19,45	20,25	60,5	16,785
14	15,1	19,3	20,4	59,5	16,69
15	16,25	20,65	24,5	61,5	18,725
16	15,75	22,2	22,7	48	17,835
17	16	21,45	22,85	44	18,055

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

Procesamiento de las condiciones ambientales en las cabinas de ensayos sin el prototipo de jardín vertical de plantas asociadas, en convección natural con mayor área de jardín, (8 m²).

Tabla 12. Segundo registro de datos sin el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección natural (v=0 m/s)

HORA	Tbh°C Prom sin J.	Tbs°C Prom sin J.	Tg°C Prom sin J.	%.HR Prom sin J.	TGBHi°C sin J.
9	12,85	16,95	16,65	56	13,99
10	12,9	16,3	18,65	56	14,625
11	14,1	19	19,55	57	15,735
12	14,6	19,3	20	52	16,22
14	14,25	19,25	20,25	52,5	16,05
15	15,95	20,65	23,6	54,5	18,245
16	15,25	22	22,65	41,5	17,47
17	15,9	22	23,8	41,5	18,27

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

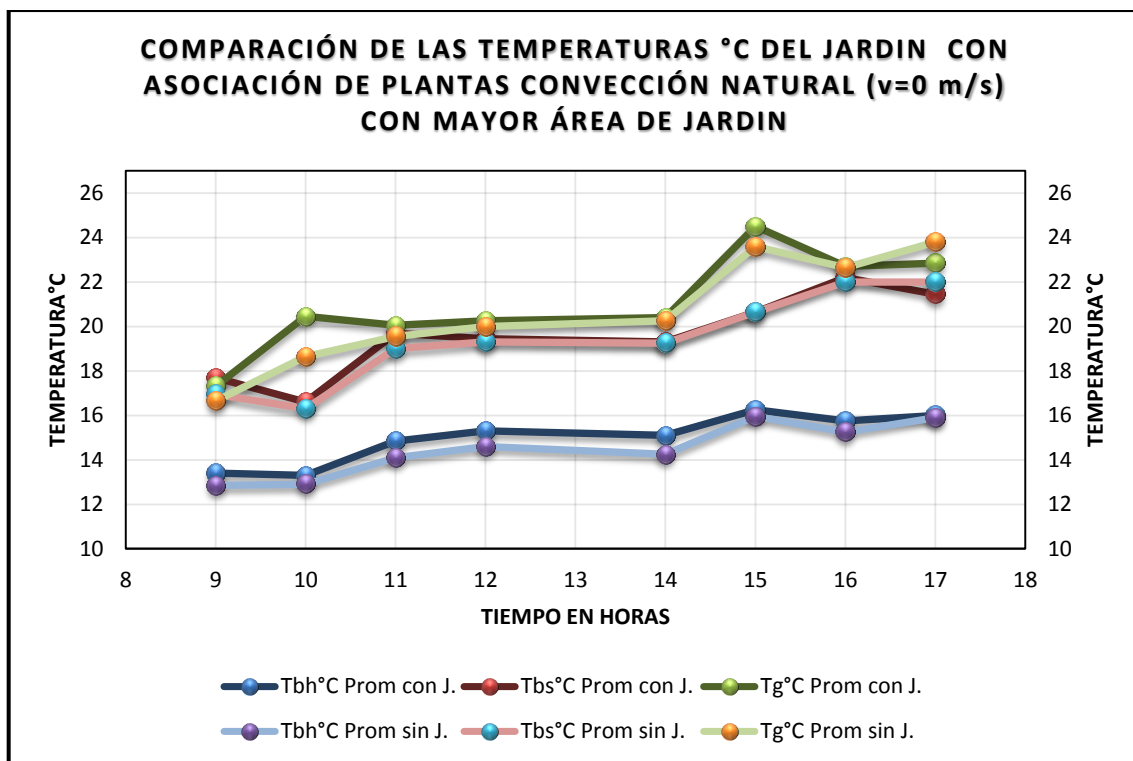


Figura 34. Comparación de las temperaturas °C del jardín con asociación de plantas convección natural ($v=0$ m/s). Con mayor área de jardín.

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura No. 34, se analizaron las temperaturas promedios de la semana, desde las 09h00 hasta las 17h00, de la cabina diseñada con asociación de plantas y la cabina sin jardín en convección natural con una velocidad del aire de (0 m/s), con mayor área de jardín, para un volumen de cabina de $15,35 \text{ m}^3$ y una área de jardín de 8 m^2 , se observa que la temperatura de bulbo húmedo (Tbh°C), temperatura que evalúa la velocidad aproximada a la que el trabajador está perdiendo agua a causa de su exposición al calor; en la cabina con jardín la temperatura de bulbo húmedo siempre se encuentra en un valor superior a la cabina sin jardín tomando un valor máximo de 16.25°C en la cabina con jardín a las 15h00 en comparación de 15.95°C en la cabina sin jardín a las 15h00 dando una diferencia de 0.30°C , un valor mínimo de 13.4°C en la cabina con jardín en comparación de $12,85^\circ\text{C}$ en la cabina sin jardín, dando una

diferencia de 0.55°C a las 09h00, esto quiere decir que el trabajador empezará a perder agua a temperaturas más altas.

La temperatura de globo promedio ($T_g^{\circ}\text{C}$), temperatura a la que se encuentra sometido el trabajador a causa de la radiación; en el caso de la cabina con jardín esta se encuentra por debajo de la temperatura de globo de la cabina sin jardín, con un valor máximo de 24.5°C en la cabina con jardín a las 15h00, en comparación de 23.8°C en la cabina sin jardín a las 17h00, dando una diferencia de 0.7°C y un valor mínimo de 16.95°C en la cabina con jardín en comparación de 16.65°C en la cabina sin jardín a las 09h00; esto quiere decir que la radiación solar es menor en las cabinas con jardín, cabe mencionar que estas temperaturas son las que influyen en el cálculo de la temperatura global de bulbo húmedo ($T_{GBH}^{\circ}\text{C}$), que regula el confort termohigrométrico.

La temperatura de bulbo seco ($T_{bs}^{\circ}\text{C}$), temperatura tomada con el termómetro convencional para tener un parámetro de comparación frente a las otras dos; en la cabina sin jardín, se observa valores más altos que en la cabina con jardín, esto indica que los jardines verticales si regulan la temperatura.

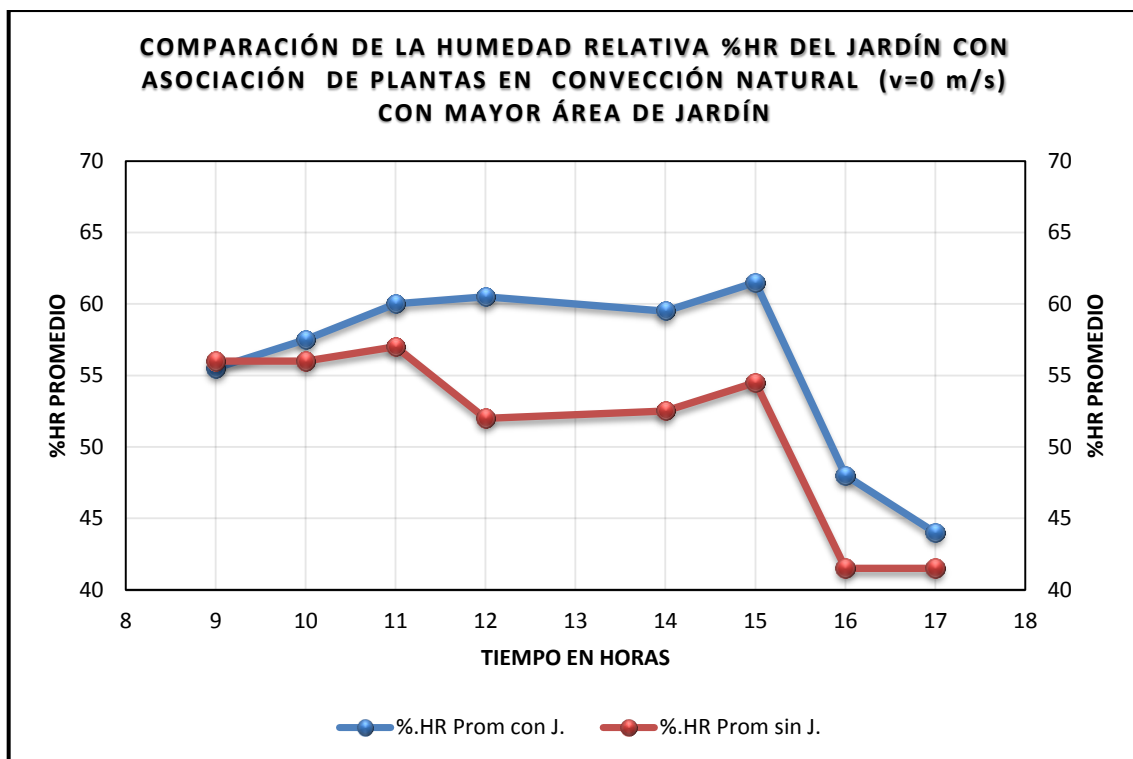


Figura 35. Comparación de la humedad relativa %HR del jardín con asociación de plantas en convección natural ($v=0$ m/s). Con mayor área de jardín.

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura No. 35. La humedad relativa (%HR) de la cabina con jardín se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 61.5% de humedad en la cabina con jardín a las 15h00 en comparación de 57.0% de humedad en la cabina sin jardín a las 11h00 y un valor mínimo de 44.0 % de humedad en la cabina con jardín en comparación de 41.5 % de humedad a las 17h00, lo que indica que en las cabinas con jardín aumenta el % de humedad, por la transpiración de las plantas.

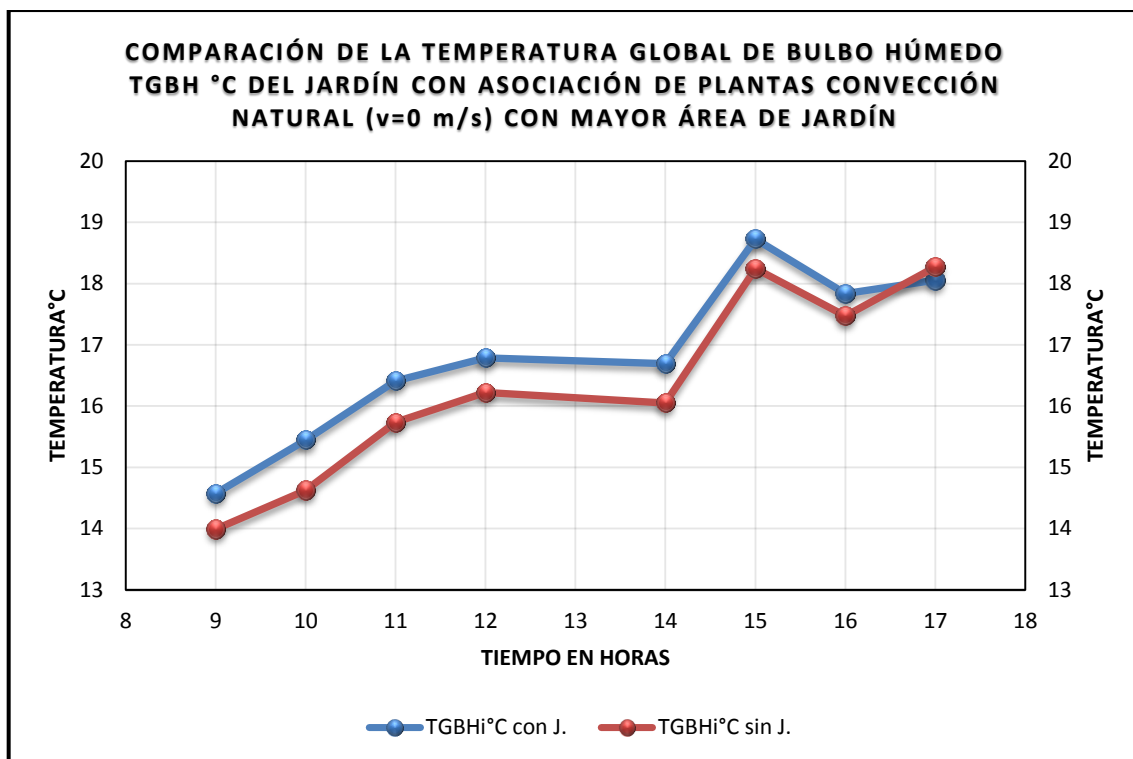


Figura 36. Comparación de la temperatura global de bulbo húmedo TGBH °C del jardín con asociación de plantas en convección natural ($v=0$ m/s). Con mayor área de jardín.

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura No 36. La temperatura global de bulbo húmedo (TGBH°C) de la cabina con jardín se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 18.73°C en la cabina con jardín a las 15h00, en comparación de 18.25°C en la cabina sin jardín a las 15h00, dando una diferencia de 0.48°C, y un valor mínimo de 14.57°C en la cabina con jardín en comparación de 13.99°C de la cabina sin jardín a las 09h00, esto indica que la cabina con jardín si regula el TGBH°C.

Sacando la diferencia de los promedios generales del TGBH°C = 16.81 de la cabina con jardín y un TGBH°C = 16.33 en cabina sin jardín encontramos una diferencia de 0.48°C.

Procesamiento de las condiciones ambientales en las cabinas de ensayos con el prototipo de jardín vertical de plantas asociadas, en convección forzada, con mayor área de jardín, (8 m²).

Tabla 13. Segundo registro de datos con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección forzada.

HORA	Tbh°C Prom con J.	Tbs°C Prom con J.	Tg°C Prom con J.	%.HR Prom con J.	TGBHi°C con J.	Veloc. m/s con J.
9	14,65	17,3	18,75	63,5	15,88	0.20
10	14,25	16,2	17,15	72,5	15,12	0.20
11	15,05	17,05	17,8	76	15,875	0.20
12	15,55	19,1	20,5	61,5	17,035	0.20
14	15,5	18,9	24,2	63	18,11	0.20
15	16,4	21,45	22,95	55	18,365	0.20
16	16,85	21,65	22,5	53	18,545	0.20
17	17	22,65	24	50	19,1	0.20
					PROM	0.20

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

Procesamiento de las condiciones ambientales en las cabinas de ensayos sin el prototipo de jardín vertical de plantas asociadas, en convección forzada, con mayor área de jardín.

Tabla 14. Segundo registro de datos sin el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección forzada

HORA	Tbh°C Prom sin J.	Tbs°C Prom sin J.	Tg°C Prom sin J.	%.HR Prom sin J.	TGBHi°C sin J.	Veloc. m/s sin J.
9	13,65	16,75	17,45	61,5	14,79	0.20
10	13,85	16,6	16,95	66	14,78	0.20
11	14,6	17,95	18,7	67,5	15,83	0.20
12	15,65	19,65	20,65	60	17,15	0.20
14	14,9	18,9	21,95	56,5	17,015	0.20
15	16,25	21,9	23,3	51	18,365	0.20
16	15,8	21,95	22,7	46,5	17,87	0.20
17	16,85	23,2	24,7	44	19,205	0.20
					PROM	0.20

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

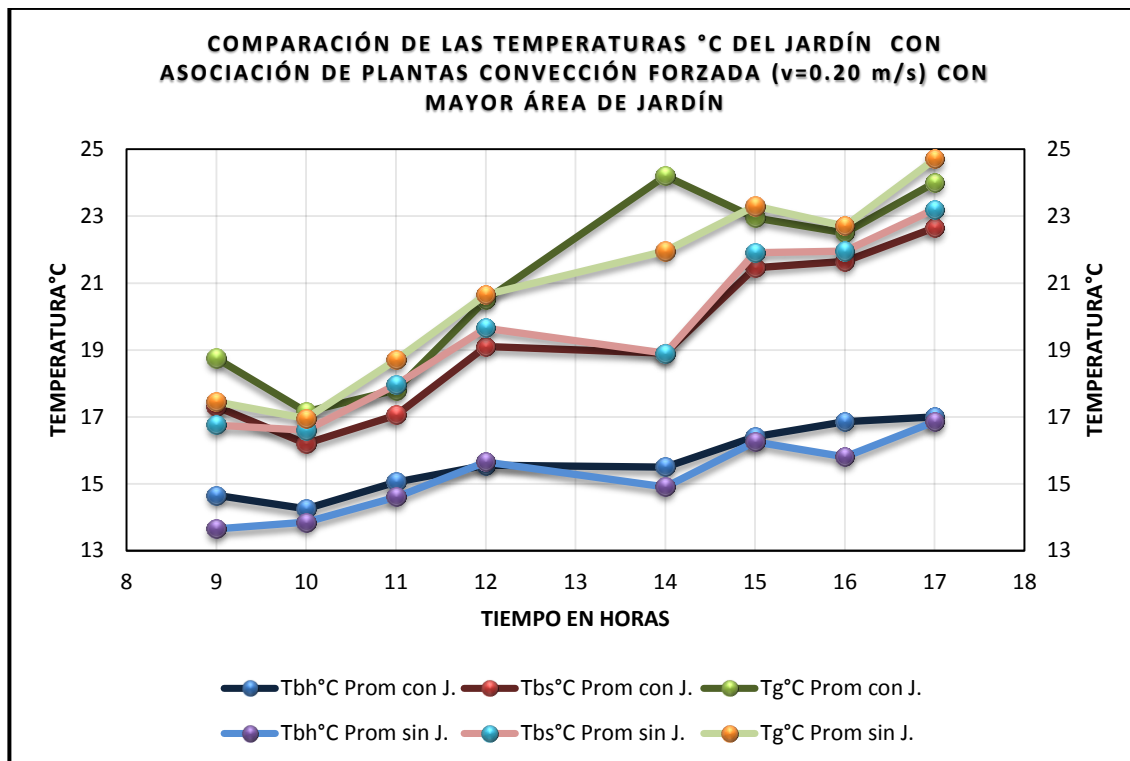


Figura 37. Comparación de las temperaturas °C del jardín con asociación de plantas convección forzada ($v=0.20$ m/s). Con mayor área de jardín.

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura No. 37, se analizaron las temperaturas promedios de la semana, desde las 09h00 hasta las 17h00, de la cabina diseñada con asociación de plantas y la cabina sin jardín en convección forzada con una velocidad del aire de (0.20 m/s), con mayor área de jardín, para un volumen de cabina de $15,35$ m³ y una área de jardín de 8 m², se observa que la temperatura de bulbo húmedo (Tbh°C), temperatura que evalúa la velocidad aproximada a la que el trabajador está perdiendo agua a causa de su exposición al calor; en la cabina con jardín la temperatura de bulbo húmedo siempre se encuentra en un valor superior a la cabina sin jardín tomando un valor máximo de 17.00°C en la cabina con jardín a las 17h00 en comparación de 16.85°C en la cabina sin jardín a las 17h00 dando una diferencia de 0.15°C , un valor mínimo de 14.65°C en la

cabina con jardín en comparación de $13,65^{\circ}\text{C}$ en la cabina sin jardín, dando una diferencia de $1,00^{\circ}\text{C}$ a las 09h00, esto quiere decir que el trabajador empezará a perder agua a temperaturas más altas.

La temperatura de globo promedio ($T_g^{\circ}\text{C}$), temperatura a la que se encuentra sometido el trabajador a causa de la radiación; en el caso de la cabina con jardín esta se encuentra por debajo de la temperatura de globo de la cabina sin jardín, con un valor máximo de $22,65^{\circ}\text{C}$ en la cabina con jardín a las 17h00, en comparación de $23,2^{\circ}\text{C}$ en la cabina sin jardín a las 17h00, dando una diferencia de $0,55^{\circ}\text{C}$ y un valor mínimo de $16,2^{\circ}\text{C}$ en la cabina con jardín en comparación de $16,6^{\circ}\text{C}$ en la cabina sin jardín a las 09h00; esto quiere decir que la radiación solar es menor en las cabinas con jardín, cabe mencionar que estas temperaturas son las que influyen en el cálculo de la temperatura global de bulbo húmedo ($T_{GBH}^{\circ}\text{C}$), que regula el confort termohigrométrico.

La temperatura de bulbo seco ($T_{bs}^{\circ}\text{C}$), temperatura tomada con el termómetro convencional para tener un parámetro de comparación frente a las otras dos; en la cabina sin jardín, se observa valores más altos que en la cabina con jardín, esto indica que los jardines verticales si regulan la temperatura.

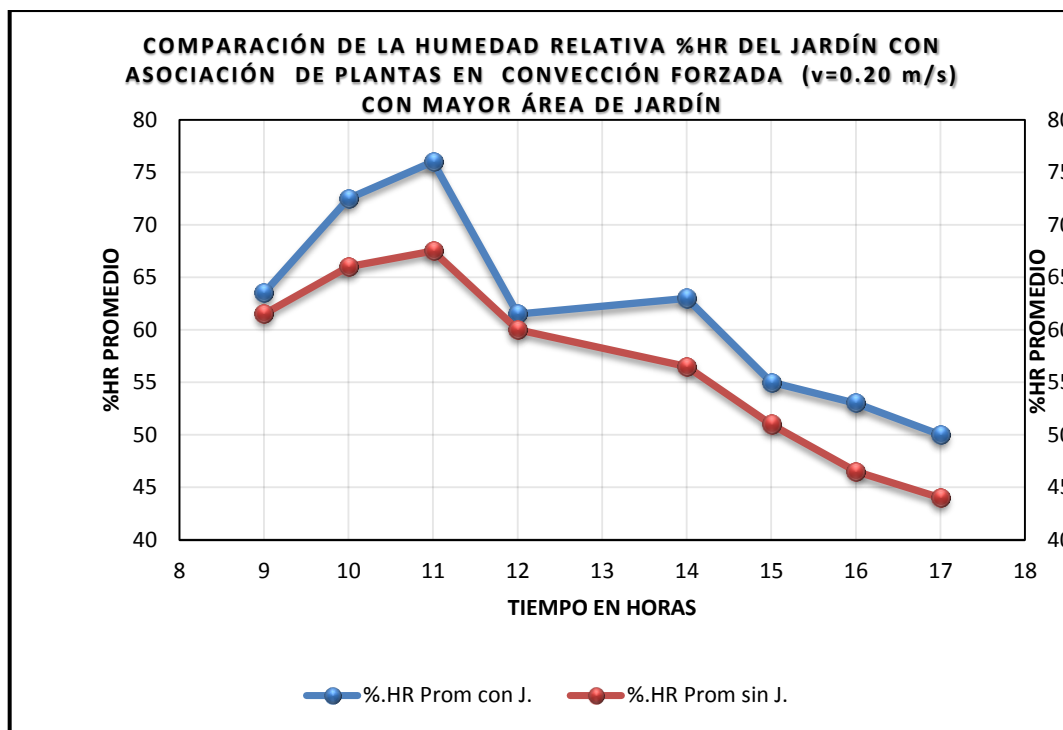


Figura 38. Comparación de la humedad relativa %HR del jardín con asociación de plantas en convección forzada ($v=0.25$ m/s). Con mayor área de jardín.

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura No. 38. La humedad relativa (%HR) de la cabina con jardín se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 76.0% de humedad en la cabina con jardín a las 11h00 en comparación de 67.5% de humedad en la cabina sin jardín a las 11h00 y un valor mínimo de 50.0 % de humedad en la cabina con jardín en comparación de 44.0% de humedad a las 17h00, lo que indica que en las cabinas con jardín aumenta el % de humedad, por la transpiración de las plantas.

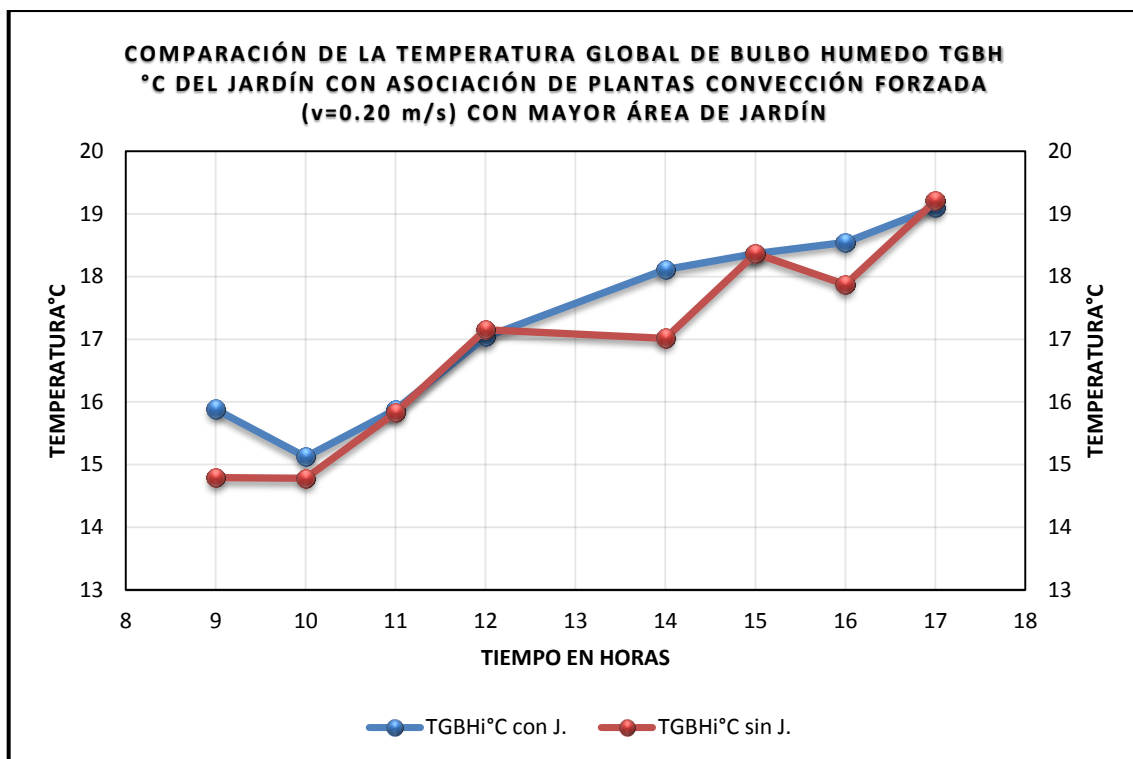


Figura 39. Comparación de la temperatura global de bulbo húmedo TGBH °C del jardín con asociación de plantas en convección forzada ($v=0.20$ m/s). Con mayor área de jardín.

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Figura No 39. La temperatura global de bulbo húmedo (TGBH°) de la cabina con jardín se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 19.10°C en la cabina con jardín a las 17h00, en comparación de 19.2°C en la cabina sin jardín a las 17h00, dando una diferencia de 0.1°C , y un valor mínimo de 15.20°C en la cabina con jardín en comparación de 14.78°C de la cabina sin jardín a las 10h00, esto indica que la cabina con jardín si regula el TGBH°.

Sacando la diferencia de los promedios generales del TGBH° = 17.25 de la cabina con jardín y un TGBH° = 16.87 en cabina sin jardín encontramos una diferencia de 0.37°C .

4.3. Prueba de Hipótesis.

4.3.1. Hipótesis general:

Hi La construcción del jardín vertical en presencia y ausencia de convección forzada tiene una relación con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.

Grupo de control 1 (cabina con jardín) \longrightarrow Grupo de control 2 (cabina sin jardín)

Ho La construcción del jardín vertical en presencia y ausencia de convección forzada no tiene una relación con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.

4.3.2. Hipótesis específicas:

Hi La construcción del jardín vertical con un solo tipo de plantas (básico) en presencia de convección natural tiene una relación con el confort termohigrométrico, en ambientes cerrados.

Ho La construcción del jardín vertical con un solo tipo de plantas (básico) en presencia de convección natural no tiene una relación con el confort termohigrométrico, en ambientes cerrados.

Para la comprobación de esta hipótesis se tomó 40 datos para contrarrestar las dos variables, temperatura global de bulbo húmedo utilizando solo helechos con jardín vertical en convección natural (**TGBHHCJCN**) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando solo helechos sin jardín vertical en convección natural (**TGBHHSJCN**), misma que será aceptada o refutada por el método de correlación mediante el coeficiente de Pearson.

Tabla 15. Correlaciones entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando solo helechos con jardín vertical en convección natural (TGBHHCJCN) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando solo helechos sin jardín vertical en convección natural (TGBHHSJCN)

		TGBHHCJCN	TGBHHSJCN
TGBHHCJCN	Correlación de Pearson	1	,793**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	40	40
TGBHHSJCN	Correlación de Pearson	,793**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	40	40

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

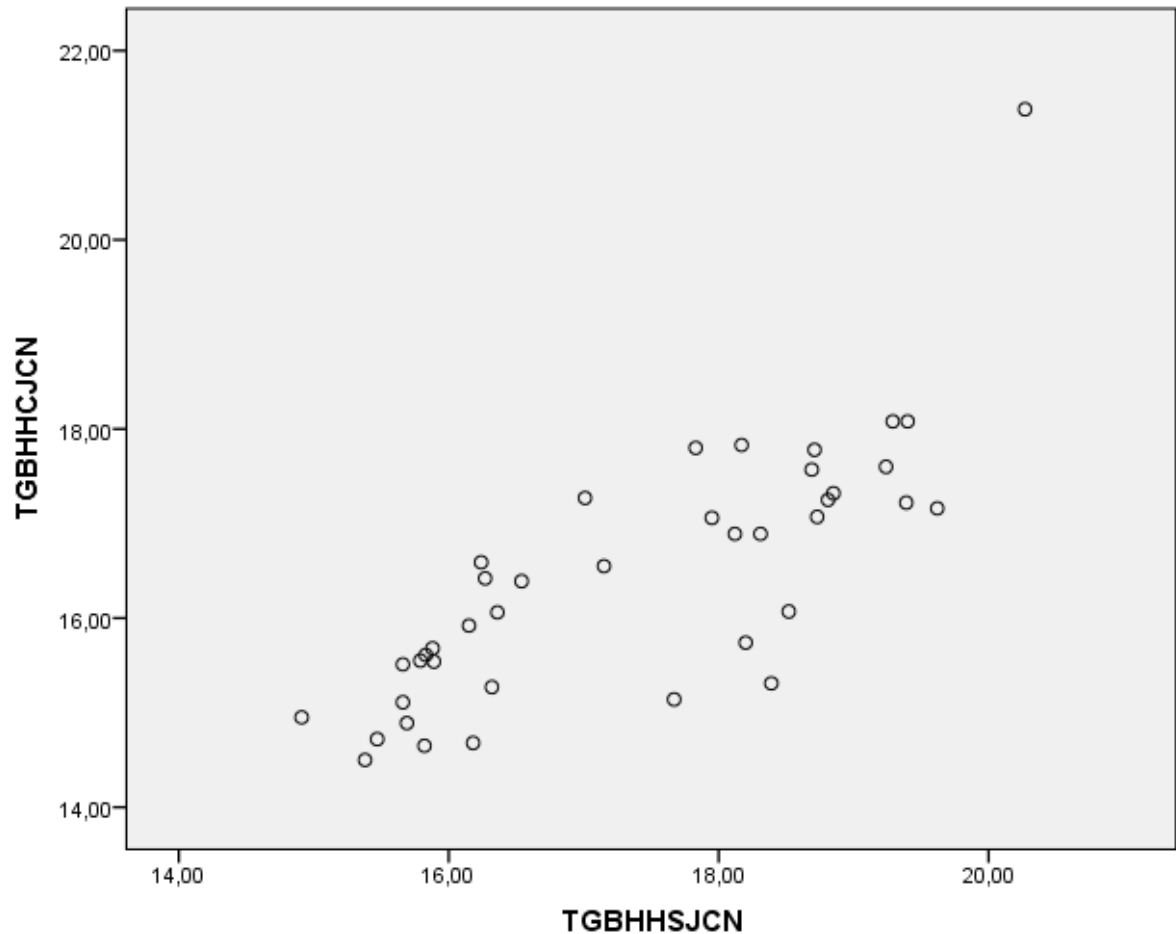


Figura 40. Diagrama de dispersión de la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando solo helechos con jardín vertical en convección natural (TGBHHCJCN) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando solo helechos sin jardín vertical en convección natural (TGBHHSJCN)

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

Conclusión de las variables: Las dos variables en estudio están relacionadas en un 79.3%, su relación es directa teniendo una covarianza positiva $S_{xy} > 0$. Por tanto se acepta la hipótesis de investigación.

Hi La construcción del jardín vertical con cuatro tipos de plantas (convencional) en presencia de convección natural tiene una relación con el confort termohigrométrico, en ambientes cerrados.

Ho La construcción del jardín vertical con cuatro tipos de plantas (convencional) en presencia de convección natural no tiene una relación con el confort termohigrométrico, en ambientes cerrados.

Para la comprobación de esta hipótesis se tomó 40 datos para contrarrestar las dos variables, temperatura global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas con jardín vertical en convección natural (TGBHVPCJCN) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas sin jardín vertical en convección natural (TGBHVPSJCN), misma que será aceptada o refutada por el método de correlación mediante el coeficiente de Pearson.

Tabla 16. Correlaciones entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas con jardín vertical en convección natural (TGBHVPCJCN) y la temperatura global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas sin jardín vertical en convección natural (TGBHVPSJCN)

		TGBHVPCJCN	TGBHVPSJCN
TGBHVPCJCN	Correlación de Pearson	1	,962**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	40	40
TGBHVPSJCN	Correlación de Pearson	,962**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	40	40

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

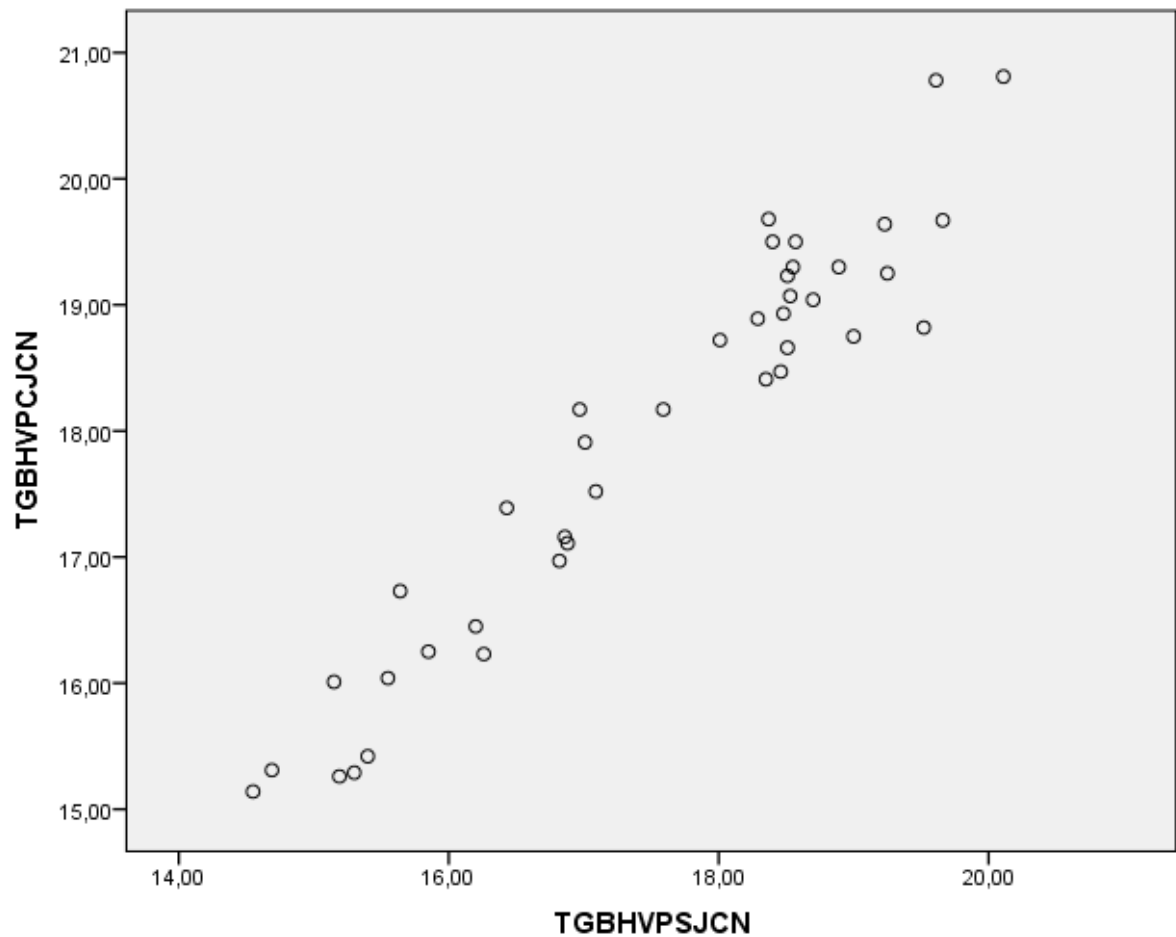


Figura 41. Diagrama de dispersión de la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas con jardín vertical en convección natural (TGBHVPCJCN) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas sin jardín vertical en convección natural (TGBHVPSJCN)

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

Conclusión de las variables: Las dos variables en estudio están relacionadas en un 96.2%, su relación es directa teniendo una covarianza positiva $S_{xy} > 0$. Por tanto se acepta la hipótesis de investigación.

Hi La construcción del jardín vertical con un solo tipo de plantas (básico) en presencia de convección forzada tiene una relación con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.

Ho La construcción del jardín vertical con un solo tipo de plantas (básico) en presencia de convección forzada no tiene una relación con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.

Para la comprobación de esta hipótesis se tomó 40 datos para contrarrestar las dos variables, temperatura global de bulbo húmedo utilizando un solo tipo de planta con jardín vertical en convección forzada (**TGBHHCJCF**) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas sin jardín vertical en convección forzada (**TGBHHSJCF**), misma que será aceptada o refutada por el método de correlación mediante el coeficiente de Pearson.

Tabla 17. Correlaciones entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando un solo tipo de planta con jardín vertical en convección forzada (TGBHHCJCF) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando un solo tipo de planta sin jardín vertical en convección forzada (TGBHHSJCF)

		TGBHHCJCF	TGBHHSJCF
TGBHHCJCF	Correlación de Pearson	1	,939**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	40	40
TGBHHSJCF	Correlación de Pearson	,939**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	40	40

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

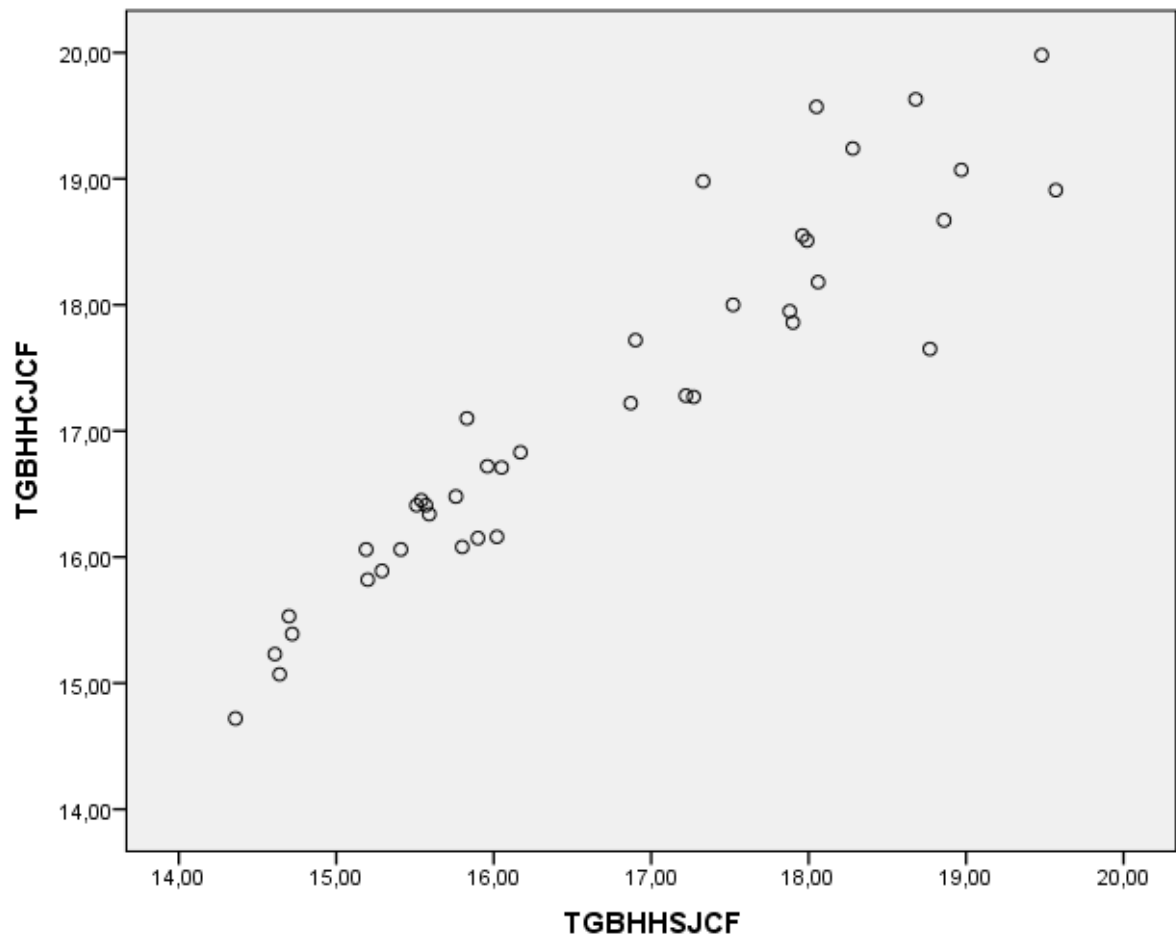


Figura 42. Diagrama de dispersión de la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando un solo tipo de planta con jardín vertical en convección forzada (TGBHHCJCF) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando un solo tipo de planta sin jardín vertical en convección forzada (TGBHHSJCF)

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

Conclusión de las variables: Las dos variables en estudio están relacionadas en un 93.9%, su relación es directa teniendo una covarianza positiva $S_{xy} > 0$. Por tanto se acepta la hipótesis de investigación.

Hi La construcción del jardín vertical con cuatro tipos de plantas (convencional) en presencia de convección forzada tiene una relación con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.

Ho La construcción del jardín vertical con cuatro tipos de plantas (convencional) en presencia de convección forzada no tiene una relación con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.

Para la comprobación de esta hipótesis se tomó 40 datos para contrarrestar las dos variables, temperatura global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipo de plantas con jardín vertical en convección forzada (**TGBHVPCJCF**) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical en convección forzada (**TGBHVPSJCF**), misma que será aceptada o refutada por el método de correlación mediante el coeficiente de Pearson.

Tabla 18. Correlaciones entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas con jardín vertical en convección forzada (TGBHVPCJCF) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical en convección forzada (TGBHVPSJCF)

		TGBHVPCJCF	TGBHVPSJCF
TGBHVPCJCF	Correlación de Pearson	1	,941**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	40	40
TGBHVPSJCF	Correlación de Pearson	,941**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	40	40

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

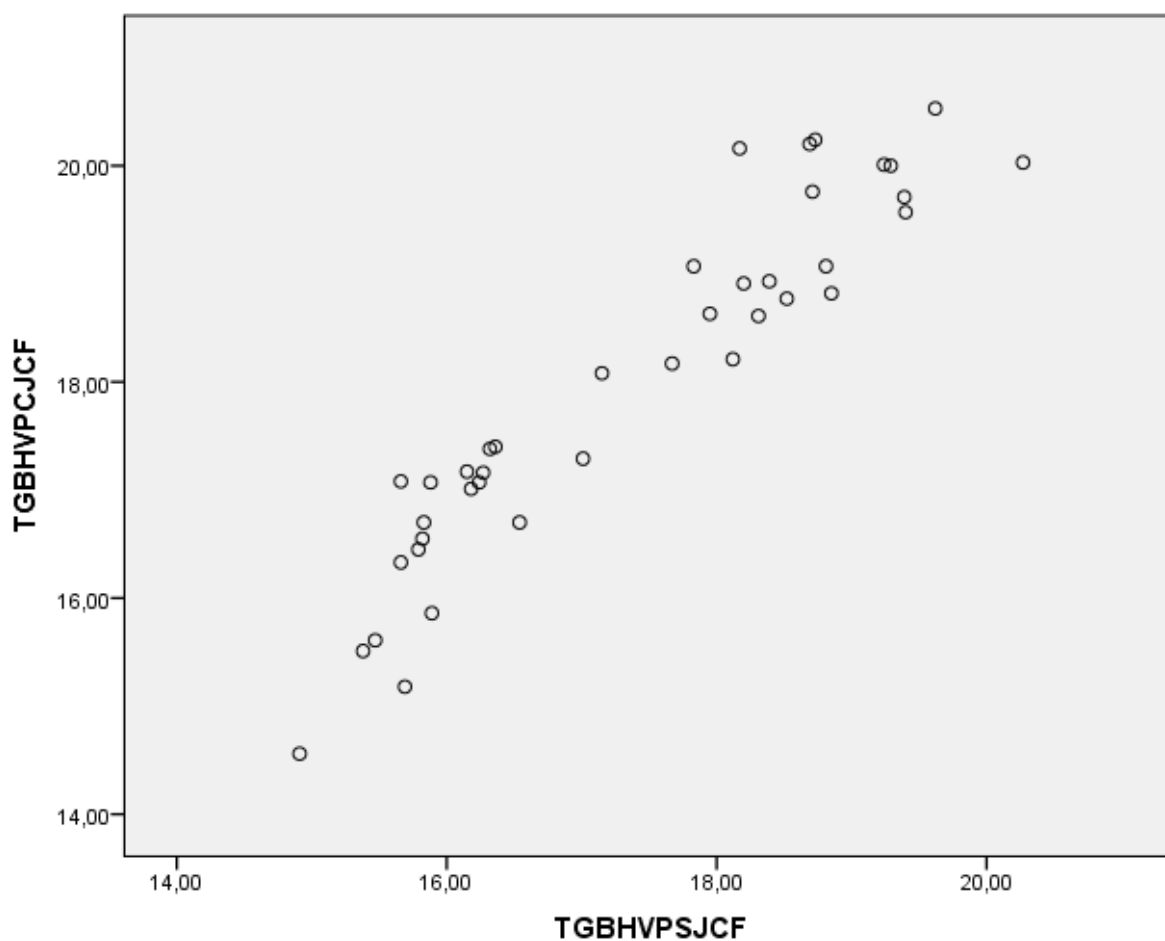


Figura 43. Diagrama de dispersión de la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas con jardín vertical en convección forzada (TGBHVPCJCF) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical en convección forzada (TGBHVPSJCF)

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

Conclusión de las variables: Las dos variables en estudio están relacionadas en un 94.1%, su relación es directa teniendo una covarianza positiva $S_{xy} > 0$. Por tanto se acepta la hipótesis de investigación.

4.3.3 Hipótesis de la construcción del jardín vertical con cuatro tipos de plantas aumentando el área de jardín a 8 m^2 , con volumen de cabina de $15,35 \text{ m}^3$

En este caso se aumentó el área del jardín a 8 m^2 para determinar si existe influencia en el confort termohigrométrico.

Hi La construcción del jardín vertical con cuatro tipos de plantas (convencional) con mayor área de jardín en presencia de convección natural tiene una relación con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.

Ho La construcción del jardín vertical con cuatro tipos de plantas (convencional) con mayor área de jardín en presencia de convección natural no tiene una relación con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.

Para la comprobación de esta hipótesis se tomo 40 datos para contrarestar las dos variables, temperatura global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas con jardín vertical a mayor área en convección natural (**TGBHVPCJMACN**) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical a mayor área en convección natural (**TGBHVPSJMACN**), misma que será aceptada o refutada por el método de correlación mediante el coeficiente de Pearsón.

Tabla 19. Correlaciones entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas con jardín vertical a mayor área en convección natural (TGBHVPCJMACN) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical a mayor área en convección natural (TGBHVPSJMACN).

		TGBHVPCJMACN	TGBHVPSJMACN
TGBHVPCJMACN	Correlación de Pearson	1	,977**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	40	40
TGBHVPSJMACN	Correlación de Pearson	,977**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	40	40

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

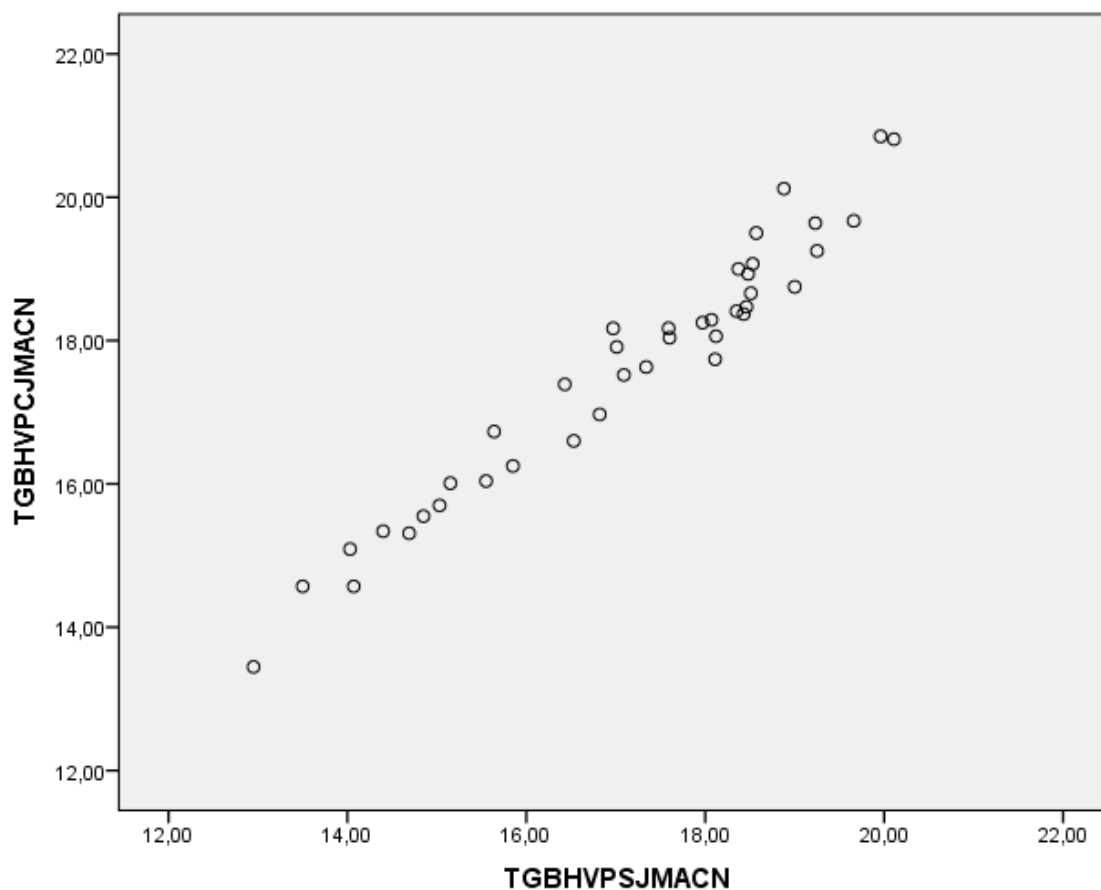


Figura 44. Diagrama de dispersión de la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando con cuatro tipos de plantas con jardín vertical a mayor área en convección natural (TGBHVPCJMACN) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical en convección forzada (TGBHVPSJMACN)

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

Conclusión de las variables: Las dos variables en estudio están relacionadas en un 97.7%, su relación es directa teniendo una covarianza positiva $S_{xy} > 0$. Por tanto se acepta la hipótesis de investigación.

Hi La construcción del jardín vertical con cuatro tipos de plantas (convencional) con mayor área de jardín en presencia de convección forzada tiene una relación con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.

Ho La construcción del jardín vertical con cuatro tipos de plantas (convencional) con mayor área de jardín en presencia de convección forzada no tiene una relación con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.

Para la comprobación de esta hipótesis se tomó 40 datos para contrarrestar las dos variables, temperatura global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas con jardín vertical a mayor área en convección forzada (**TGBHVPCJMACF**) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical a mayor área en convección forzada (**TGBHVPSJMACF**), misma que será aceptada o refutada por el método de correlación mediante el coeficiente de Pearson.

Tabla 20. Correlaciones entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas con jardín vertical a mayor área en convección forzada (**TGBHVPCJMACF**) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical a mayor área en convección forzada (**TGBHVPSJMACF**).

	TGBHVPCJMA CF	TGBHVPSJMACF
Correlación de Pearson	1	,951**
TGBHVPCJMACF Sig. (bilateral)		,000
N	40	40
Correlación de Pearson	,951**	1
TGBHVPSJMACF Sig. (bilateral)	,000	
N	40	40

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

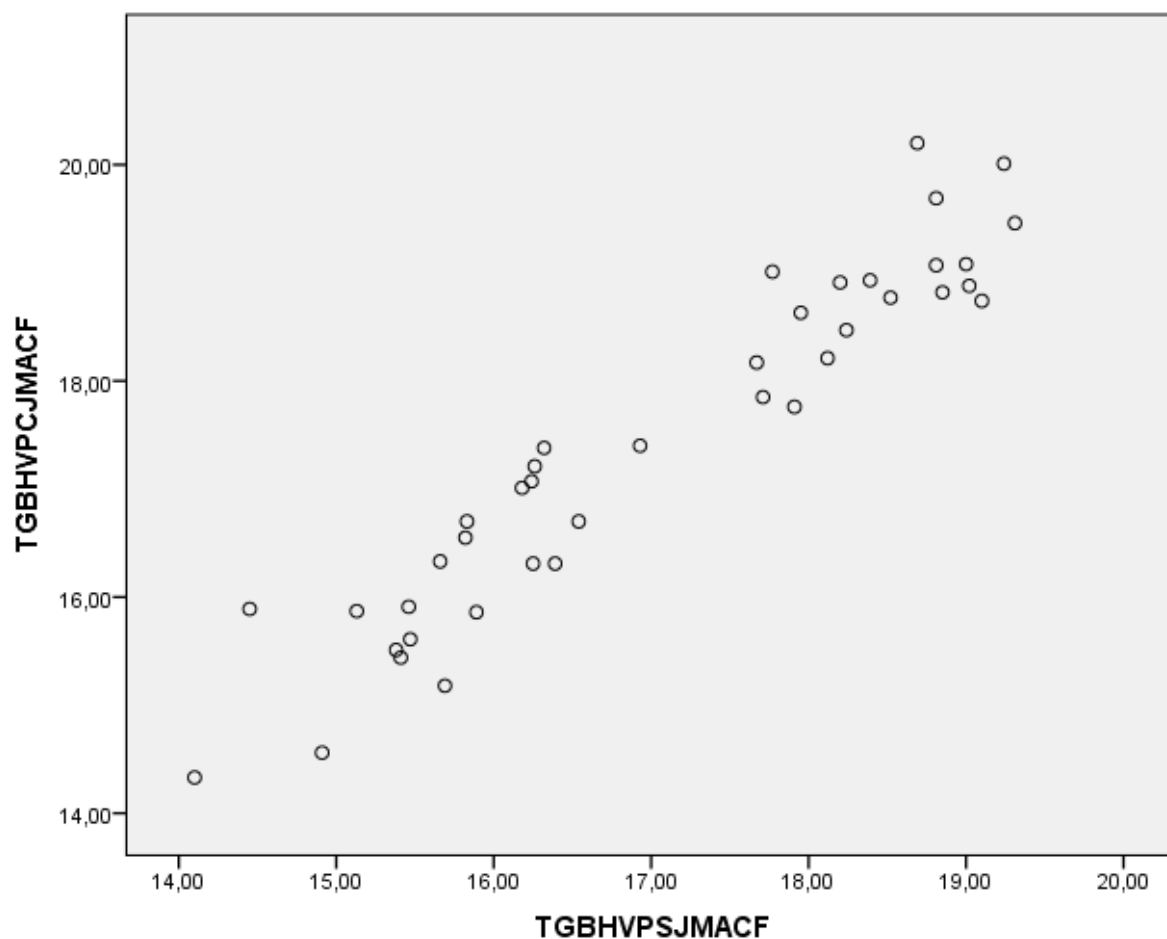


Figura 45. Diagrama de dispersión de la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando con cuatro tipos de plantas con jardín vertical a mayor área en convección natural (TGBHVPCJMACF) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical en convección forzada (TGBHVPSJMACF)

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

Conclusión de las variables: Las dos variables en estudio están relacionadas en un 95.1%, su relación es directa teniendo una covarianza positiva $S_{xy} > 0$. Por tanto se acepta la hipótesis de investigación.

4.4. Presentación de resultados

4.4.1 Comparación de los valores promedios semanales de las condiciones ambientales en convección natural y forzada de la cabina de ensayo con el prototipo de jardín vertical de helechos con el Reglamento Ecuatoriano de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto ejecutivo 2393).

Tabla 21. Comparación de las Condiciones Ambientales de la cabina con el prototipo de jardín vertical de helechos en convección natural con el Reglamento de Seguridad y Salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto ejecutivo 2393).

Variables de las condiciones Ambientales	Valor de las variables	Valores del (Decreto ejecutivo 2393)
Temperatura del bulbo húmedo	16,04 °C	(14-25)°C
Temperatura del bulbo seco	17,11°C	(14-25)°C
Porcentaje de humedad	81,40%	(30-70)%
Velocidad del viento	0	<0.25 m/s en ambiente natural y <0.45 m/s en Ambientes calurosos

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

En la Tabla 21 se muestra los valores de las variables de las Condiciones Ambientales, en donde la Temperatura del bulbo húmedo es de 16,04°C, la Temperatura de bulbo seco de 17,11°C y la Velocidad del viento de 0, encontrándose dentro del rango de los valores establecidos por decreto ejecutivo 2393 y el Porcentaje de humedad de 81,40 % se encuentra fuera del rango de los valores establecido por el decreto 2393 ya que no se controló la humedad del sustrato.

Tabla 22. Comparación de las Condiciones Ambientales de la cabina con el prototipo de jardín vertical de helechos en convección forzada con el Reglamento de Seguridad y Salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto ejecutivo 2393).

Variables de las condiciones Ambientales	Valor de las variables	Valores del (Decreto ejecutivo 2393)
Temperatura del bulbo húmedo	16,75 °C	(14-25)°C
Temperatura del bulbo seco	17,78°C	(14-25)°C
Porcentaje de humedad	81,38%	(30-70)%
Velocidad del viento	0,20 m/s	<0.25 m/s en ambiente natural y <0.45 m/s en Ambientes calurosos

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

En la Tabla 22 se muestra los valores de las variables de las Condiciones Ambientales, en donde la Temperatura del bulbo húmedo es de 16,75°C, la Temperatura de bulbo seco de 17,78°C, la velocidad del viento de 0.20 m/s se encuentran dentro del rango de los valores establecidos por decreto ejecutivo 2393, mientras que el Porcentaje de humedad de 81.38 %, se encuentran fuera del rango de los valores establecidos por el decreto 2393 estos parámetros se puede controlar.

4.4.2 Resultados de la comparación de los valores de los promedios semanales de las condiciones ambientales en convección natural y forzada de la cabina de ensayo con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas con el Reglamento de Seguridad y Salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto ejecutivo 2393).

Tabla 23. Comparación de las Condiciones Ambientales de la cabina con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección natural con el Reglamento de Seguridad y Salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto ejecutivo 2393).

Variables de las condiciones Ambientales	Valor de las variables	Valores del (Decreto ejecutivo 2393)
Temperatura del bulbo húmedo	17,39 °C	(14-25)°C
Temperatura del bulbo seco	18,22°C	(14-25)°C
Porcentaje de humedad	77,38%	(30-70)%
Velocidad del viento	0	<0.25 m/s en Ambiente natural y < 0.45 m/s en Ambientes calurosos.

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

En la Tabla 23 se muestra los valores de las variables de las Condiciones Ambientales, en donde la Temperatura del bulbo húmedo es de 17,39°C, la Temperatura de bulbo seco de 18,22°C y la Velocidad del viento de 0 , encontrándose dentro del rango de los valores establecidos por decreto ejecutivo 2393 y el Porcentaje de humedad de 77,38 % se encuentra fuera de los valores establecidos por el decreto 2393.

Tabla 24. Comparación de las Condiciones Ambientales de la cabina con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección forzada con el Reglamento de Seguridad y Salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto ejecutivo 2393).

Variables de las condiciones Ambientales	Valor de las variables	Valores del (Decreto ejecutivo 2393)
Temperatura del bulbo húmedo	17,38°C	(14-25)°C
Temperatura del bulbo seco	18.75°C	(14-25)°C
Porcentaje de humedad	77,98%	(30-70)%
Velocidad del viento	0,20 m/s	<0.25 m/s en Ambiente natural y < 0.45 m/s en Ambientes calurosos.

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

En la Tabla 24 se muestra los valores de las variables de las Condiciones Ambientales, en donde la Temperatura del bulbo húmedo es de 17,38°C y la Temperatura de bulbo seco de 18,75°C, la Velocidad del viento de 0,20 se encuentran dentro del rango de los valores establecidos por decreto ejecutivo 2393, mientras que el Porcentaje de humedad de 77,38 % se encuentra fuera del rango establecido por el decreto 2393.

Tabla 25. Comparación de las Condiciones Ambientales de la cabina con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas con mayor área de jardín, en convección forzada con el Reglamento de Seguridad y Salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto ejecutivo 2393).

Variables de las condiciones Ambientales	Valor de las variables	Valores del (Decreto ejecutivo 2393)
Temperatura del bulbo húmedo	17,38°C	(14-25)°C
Temperatura del bulbo seco	18.75°C	(14-25)°C
Porcentaje de humedad	77,98%	(30-70)%
Velocidad del viento	0,20 m/s	<0.25 m/s en Ambiente natural y < 0.45 m/s en Ambientes calurosos.

Fuente: Elaborado por el autor. (Febrero 2016).

En la Tabla 25 se muestra los valores de las variables de las Condiciones Ambientales, en donde la Temperatura del bulbo húmedo es de 17,38°C y la Temperatura de bulbo seco de 18,75°C, la Velocidad del viento de 0,20 m/s se encuentran dentro del rango de los valores establecidos por decreto ejecutivo 2393, mientras que el Porcentaje de humedad de 77,38 % se encuentran fuera del rango establecido por el decreto 2393.

Analizando la Figura 15 se muestra que el sustrato (Sunsine mix 3) tiene el porcentaje de humedad más alto de los demás sustratos analizados en el laboratorio y alto en los elementos esenciales del sustrato en Nitrógeno, Fosforo y Potasio para un mejor desarrollo de las especies de estudio, por este motivo se tomó la decisión de utilizar este sustrato en los jardines verticales.

La humedad relativa presentó valores mayores dentro de las cabinas con prototipo de jardín vertical y menor sin prototipo de jardín vertical de helechos y de asociación de especies en convección natural y forzada.

De la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando solo helechos con jardín vertical en convección natural (TGBHHCJCN) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando solo helechos sin jardín vertical en convección natural (TGBHHSJCN), se encontró un valor de 79,3% y su diferencia es del 20,7%.

De la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas con jardín vertical en convección natural (TGBHVPCJCN) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas sin jardín vertical en convección natural (TGBHVPSJCN), se encontró un valor de 96,2% y su diferencia de 3,8%.

De la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando un solo tipo de planta con jardín vertical en convección forzada (TGBHHCJCF) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando un solo tipo de planta sin jardín vertical en convección forzada (TGBHHSJCF), se encontró un valor de 93,9% y su diferencia de 6,1%.

De la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas con jardín vertical en convección forzada (TGBHVPCJCF) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical en convección forzada (TGBHVPSJCF), se encontró un valor de 94,1% y su diferencia de 5,9%.

De la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando con cuatro tipos de plantas con jardín vertical a mayor área en convección natural (TGBHVPCJMACN) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical en convección forzada (TGBHVPSJMACN), se encontró un valor de 97,7% y su diferencia de 2,3%.

De la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando con cuatro tipos de plantas con jardín vertical a mayor área en convección natural (TGBHVPCJMACF) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical en convección forzada (TGBHVPSJMACF), se encontró un valor de 95,1% y una diferencia de 4,9%.

Analizando los resultados anteriores podemos decir que los jardines verticales mas adecuados son los jardines pasivos contruidos con helechos o con varias plantas pero con convección forzada para permitir una recirculación de aire adecuada, reduciendo el efecto de isla de calor, produciendo oxígeno y aportando una mejor estética al ambiente laboral.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.

- La especie helechos (Nephrolepis exaltada) en el prototipo de jardín vertical se obtuvo una mejor adaptación días después del trasplante, existiendo nuevos brotes de ramas en los 10, 25 y 40 días, concluyendo que es una planta excelente en eliminar ciertas sustancias contaminantes de Formaldehído en interiores cualidades determinadas por la NASA.
- En los análisis de los diferentes sustratos realizado por el laboratorio de Ciencias Ambientales (UNACH), se obtuvo en el sustrato sunshine mix 3 el mayor porcentaje de humedad de 46,83 %, y elementos esenciales altos en Nitrógeno, Fósforo y Potasio que permitieron el desarrollo y sobrevivencia de todas las especies en los prototipos de helechos y de asociación de plantas para el ensayo dentro de las cabinas.
- La temperatura global de bulbo húmedo (TGBH°C) de la cabina con jardín diseñado con helechos en convección natural, se encuentra por debajo de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 17.79°C en la cabina con jardín en comparación de 17.69°C en la cabina sin jardín, dando una diferencia de 0.1°C a las 15h00 y un valor mínimo de 15.08°C en la cabina con jardín en comparación de 14.98 de la cabina sin jardín a las 09h00, a partir de las 16h00 se observa que la temperatura global de bulbo húmedo de la cabina con jardín se ubica por debajo de la cabina sin jardín, esto se debe posiblemente a un insuficiente tiempo de regulación del equipo, los promedios generales del TGBH°C = 16.43 de la cabina con jardín y un TGBH°C = 16.58 en cabina sin jardín, encontramos una diferencia de -0.15°C, el valor negativo se debe a una mala calibración en el equipo.

- La temperatura global de bulbo húmedo (TGBH°C) de la cabina con jardín diseñado con helechos en convección forzada, se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 18.95°C en la cabina con jardín en comparación de 17.95°C en la cabina sin jardín dando una diferencia de 1°C a las 17h00 y un valor mínimo de 15.47°C en la cabina con jardín en comparación de 14.97 de la cabina sin jardín a las 09h00, esto indica que la cabina con jardín si regula el TGBH°C, los promedios generales del TGBH°C = 17.2 de la cabina con jardín y un TGBH°C = 16.68 en cabina sin jardín, encontramos una diferencia de 0.52°C.
- La temperatura global de bulbo húmedo (TGBH°C), de la cabina con jardín diseñado con cuatro tipos de plantas, en convección natural, se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 19.81°C en la cabina con jardín en comparación de 18.93°C en la cabina sin jardín dando una diferencia de 0.88°C a las 17h00 y un valor mínimo de 15.7°C en la cabina con jardín en comparación de 15.36 de la cabina sin jardín a las 09h00, esto indica que la cabina con jardín si regula el TGBH°C., los promedios generales del TGBH°C = 17.97 de la cabina con jardín y un TGBH°C = 17.51 en cabina sin jardín encontramos una diferencia de 0.46°C.
- La temperatura global de bulbo húmedo (TGBH°C) de la cabina con jardín diseñado con cuatro tipo de plantas en convección forzada, se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 19.84°C en la cabina con jardín a las 16h00, en comparación de 19.14°C en la cabina sin jardín a las 15h00, dando una diferencia de 0.7°C, y un valor mínimo de 15.75°C en la cabina con jardín en comparación de 15.49 de la cabina sin jardín a las 09h00, esto indica que la cabina con jardín si regula el TGBH°C., los promedios generales del TGBH°C = 17.98 de la cabina con jardín y un TGBH°C = 17.36 en cabina sin jardín encontramos una diferencia de 0.62°C.

- La temperatura global de bulbo húmedo (TGBH°C) de la cabina con jardín diseñado con cuatro tipo de plantas y mayor área de jardín en convección natural, se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 18.73°C en la cabina con jardín a las 15h00, en comparación de 18.25°C en la cabina sin jardín a las 15h00, dando una diferencia de 0.48°C, y un valor mínimo de 14.57°C en la cabina con jardín en comparación de 13.99 de la cabina sin jardín a las 09h00, esto indica que la cabina con jardín si regula el TGBH°C., los promedios generales del TGBH°C = 16.81 de la cabina con jardín y un TGBH°C = 16.33 en cabina sin jardín encontramos una diferencia de 0.48°C.
- La temperatura global de bulbo húmedo (TGBH°C) de la cabina con jardín diseñado con cuatro tipos de plantas y mayor área de jardín en convección forzada, se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 19.10°C en la cabina con jardín a las 17h00, en comparación de 19.2°C en la cabina sin jardín a las 17h00, dando una diferencia de 0.1°C, y un valor mínimo de 15.20°C en la cabina con jardín en comparación de 14.78 de la cabina sin jardín a las 10h00, esto indica que la cabina con jardín si regula el TGBH°C., los promedios generales del TGBH°C = 17.25 de la cabina con jardín y un TGBH°C = 16.87 en cabina sin jardín encontramos una diferencia de 0.37°C.
- Al comparar los promedios semanales de las variables de las condiciones ambientales de la cabina de ensayo con prototipo de jardín vertical de helechos y de asociación plantas en convección natural y forzada con los límites establecidos del Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto ejecutivo 2393), se obtuvo que la Temperatura del bulbo húmedo, bulbo seco y la velocidad viento están dentro de los límites permisibles de la normativa y el porcentaje de humedad no se encuentra dentro del límite permisible el motivo es porque el equipo que registra el valor de humedad se colocó muy cerca al jardín sin embargo existe la ventaja que todo el material particulado suspendido en la atmósfera precipite con facilidad.

- De acuerdo al análisis estadístico de correlación de Pearson se concluye que con la implementación del prototipo de jardín vertical de asociación de plantas se tiene cambios en las condiciones ambientales en ambientes cerrados en convección natural y forzada.

Recomendaciones.

- Realizar un prototipo de jardín vertical con asociación de plantas sin las especies recomendadas por la NASA, para medir sus condiciones ambientales.
- Analizar otros sustratos que contengan mejores condiciones físicas y químicas, para el desarrollo de las plantas, que resulten ser más económicos.
- Utilizar jardines pasivos contruidos con helechos o con varias plantas pero con convección forzada, para permitir una recirculación de aire adecuado, reduciendo el efecto de calor, produciendo oxígeno y aportando una mejor estética al ambiente laboral.
- Utilizar una mezcla de sustrato, entre sunshine mix 3 y hojarasca para abaratar el costo y alivianar el peso del jardín.
- Regar los jardines tres veces por semana, utilizando el riego por goteo, ya que de esta manera se optimiza este recurso.
- Pintar los soprtres del jardín una vez al año para garantizar su duración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Ashrae, (1992). *Refrigerating and Air-conditioning Engineers*. American Society of Heating. Thermal environmental conditions for human occupancy. ANSI/ASHRAE 55-1992, Atlanta, USA.

Ashrae, (2001). *Refrigerating and Air-conditioning Engineers*. American Society of Heating, ASHRAE handbook fundamentals. Atlanta, USA.

Ashrae, (2004). *Refrigerating and Air-conditioning Engineers*. American Society of Heating, Thermal environmental conditions for human occupancy. ANSI / ASHRAE 55-2004, Atlanta, USA.

Auliciems, A., & Szokolay, S. (1997). *Thermal Comfort. Notes of Passive and Low Energy Architecture International*. No. 3. Brisbane: PLEA– University of Queensland.

Brager, G., & De Dear, R. (1998). *Thermal adaptation in the built environment: a literature review*. En *Energy and buildings*, pp. 83-96.

Cortéz, José María. (2002), *Seguridad e Higiene del trabajo. Técnicas de Prevención de Riesgos de Trabajo*. Tercera Edición. Alfaomega. México.

Cristchfield, H. (1974). *General Climatology*. Prentice-Hall.

Chiner, D., Mercedes D., & , J. (2004). *Laboratorio de Ergonomía*. Editorial Alfaomega – Universidad Politécnica de Valencia. México.

Chine, J., Jellicoe, G. (1966). *Architectural book*. Italian gardens of the Renaissance. pud. Co. New York.

Donelly, M., (1992). *Architecture in the Scandinavian Countries*, the MIT Press Cambridge. MA.

Garabito, J., (2009). *Guia de laboratorio de producción*, Escuela de ingeniería de Colombia.

Givoni, B., (1969). *Man, Climate and Architecture*, London, Ed.Elsevier Architectural Science Series.

Gómez, L., (1990). *Recomendaciones Bioclimáticas para la Arquitectura en la Ciudad de Colima*. Colima, México.

Gómez, L., & Ruiz R., (2006). *Determinación de la amplitud del rango de confort térmico preferente para las personas que habitan en clima tropical sub-húmedo*. Caso: Ciudad de Colima. Reporte Técnico Final No. CGIC400/06-A-000.” FRABA. Universidad de Colima, México.

Gómez, L., Bojórquez M., & Ruiz, R., (2007). *El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados*. Artículo publicado en la revista de Investigación Científica en Arquitectura “Palapa” de la Universidad de Colima -Facultad de Arquitectura y Diseño-, Colima, México. Volumen II, Número I, Segunda Época, ISSN: 1870-7483.

Hoffman, D., (1995). *Understanding Frank Lloyd Wrights Architecture*. Dover Publications. New York.

Holman, D., (1989). *Thermal improvement by means of leaf coveron external. Walls a simulation model*. Energy and Buldings.

Hoyano, A., (1998). *Climatological uses of plants for solar control, and the effects on the termal environment of a bulding*. p.11.

Humphreyes, M., (1978). *Outdoor temperatures and comfort indoors en Building Research and Practice*, vol 6 (2).

ISO, International Organization for Standardization (1995). ISO 10551:1995 (E) *Ergonomic of the thermal environment using subjective judgment scales*. Geneva, Switzerland.

ISO, International Organization for Standardization (1995). ISO 7730:1995. *Moderate thermal environments. Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*. Geneva, Switzerland.

ISO, International Organization for Standardization (1998). ISO 7726:1998. (E) *Ergonomics of the thermal environment-instruments for measuring physical quantities*. Ginebra: edición de autor.

ISO, International Organization for Standardization (2005). ISO 7730:2005. (E) *Ergonomics of the thermal environment-analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Ginebra: edición de autor.

Kontoleon, K., & Eumorfopoulon, A., (2010). *The effect of the orientation and proportion of a plant, covered wall layer on the thermal performance of a buiding zone. Bulding an Environmet*.

Ministre of Economy Baden, (2008). *Wirtschafts ministerium. Environmental Protection department. Climate booklet for urban development*. Enero.

Mondelo, P., Torada, G., & Uriz, S., (2001). *Ergonomía 2. Confort y Estrés Térmico*. Alfaomega – UPC. México.

Niebel, B., (1996). *Ingeniera Industrial. Métodos, Tiempos y Movimientos*, Novena Edición. Alfaomega. México.

Neufert, P., (2009). *Casa, vivienda, jardín*/Gustavo Gilli, Barcelona 2. Ed.

Papadakis, G., Tshahins, P., & Kyrstis, S., (2001). *An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buldings*.

Pek SW., Callaghan, C., & Bass, B. (1999). *Research report: Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada*.

Schidt, M. (2003). *Energy saving strategies through the greening of buildings, World energy and climate event*. Rio de Janeiro. Brasil.

Stec, W., Van, P., & Maziarz, A. (2005). *Modeling the double skin facade with plants*. Energy and Buildings.

Toftum, J. (2002). *Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates*, en Energy and Buildings, pp. 533-536.

Vintimilla, C. (2013). *Uso de materiales para jardines verticales en espacios interiores*. Ecuador.

Forestal, A. (07 de Enero de 2013). *Alicante Forestal*. Recuperado el 28 de Enero de 2015, de Mantenimiento de jardines verticales: <http://www.alicanteforestal.es/mantenimiento-de-jardines-verticales/>

ANEXOS

ANEXO 1. Construcción de las cabinas y de los prototipos de jardín vertical y trasplantación de las plantas.

LUNES 13 DE OCTUBRE 2014



LIMPIEZA DEL TERRENO Y MEDICIÓN DE LAS MEDIDAS PARA LAS CABINAS.

LUNES 20 DE OCTUBRE 2014.



CIMENTACIÓN DE LAS CABINAS DE ENSAYO.



CONSTRUCCIÓN DE LAS PAREDES.

JUEVES 21 DE NOVIEMBRE DEL 2014



TERMINACIÓN Y COLOCACION DE TECHOS, PUERTAS Y VENTANAS EN LAS CABINAS PARA EL JARDÍN VERTICAL.



PLANTAS PARA LA TRANSPLANTACIÓN EN EL JARDÍN VERTICAL.



VEHÍCULO DE LA TRANSPOTACIÓN DE LAS ESPECIES VEGETALES PARA EL PROTOTIPO DE JARDIN VERTICAL.



BANDEJAS DE HELECHOS Y ASOCIACIÓN DE PLANTAS 10 DE DICIEMBRE DEL 2014.



CONTEO DEL NÚMERO DE RAMAS DE LAS PLANTAS DE ESTUDIO AL DÍA DEL TRANSPLANTE A LOS 10,25 Y 40 DÍAS DESPUÉS DEL TRANSPLANTE.



MEDICIÓN DE LA ALTURA DE LOS HELECHOS DE ESTUDIO




MEDICIÓN Y TOMA DE LOS DATOS DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES CON EL EQUIPO QUESTUM P°34 EN COVECCIÓN NATURAL Y FORZADA.




MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO CON EL ANEMÓMETRO TMA10.

ANEXO 2. Resultados de los análisis de Laboratorio de Servicios Ambientales de las diferentes muestras de sustratos.



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Sr. Javier Tandazo	INFORME N°: 006 – 14 N° SE: 006 – 14
-----------------------------------	---

EMPRESA: Proyecto de Tesis UNACH

DIRECCIÓN: Diego de Ibarra y Argentinos

TELÉFONO: 0984861917

FECHA DE RECEPCIÓN: 23 – 09 – 14
FECHA DE INFORME: 01 – 10 – 14

NÚMERO DE MUESTRAS: 4

TIPO DE MUESTRAS: Sustrato orgánico comercial (Borita), Turba comercial, Suelo común, fibra de coco.

IDENTIFICACIÓN:

Muestra 1	Sustrato orgánico comercial (Borita)
Muestra 2	Turba rubia de musgo sphagnum canadiense fino (Sunshine Mix 3)
Muestra 3	Suelo común
Muestra 4	Fibra de coco

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Código	pH	% Humedad	Densidad Aparente g/cm ³	Temperatura °C	Nitrógeno (N) (Kg/Ha)	Fósforo (P) (Kg/Ha)	Potasio (K) (Kg/Ha)	Materia Orgánica (%)
Muestra 1	6,75	46,73	0,21	20,1	0,280	90	80	33,73

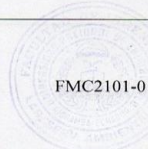
Código	pH	% Humedad	Densidad Aparente g/cm ³	Temperatura °C	Nitrógeno (N) (Kg/Ha)	Fósforo (P) (Kg/Ha)	Potasio (K) (Kg/Ha)	Materia Orgánica (%)
Muestra 2	5,64	46,83	0,12	20,4	0,560	150	150	14,57

Código	pH	% Humedad	Densidad Aparente g/cm ³	Temperatura °C	Nitrógeno (N) (Kg/Ha)	Fósforo (P) (Kg/Ha)	Potasio (K) (Kg/Ha)	Materia Orgánica (%)
Muestra 3	6,03	20,67	0,96	20,0	0,470	150	110	93,82

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
 -Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 1 de 2

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.



FMC2101-01



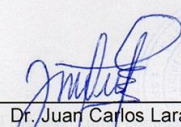
LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Código	pH	% Humedad	Densidad Aparente g/cm ³	Temperatura °C	Nitrógeno (N) (Kg/Ha)	Fósforo (P) (Kg/Ha)	Potasio (K) (Kg/Ha)	Materia Orgánica (%)
Muestra 4	5.32	20.23	0.15	20.8	0.140	80	90	5.8

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Mario Ruiz B.
Dr. Juan Carlos Lara R.


Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.

Código	pH	% Humedad	Densidad Aparente g/cm ³	Temperatura °C	Nitrógeno (N) (Kg/Ha)	Fósforo (P) (Kg/Ha)	Potasio (K) (Kg/Ha)	Materia Orgánica (%)
Muestra 1	5.35	45.75	0.24	20.1	0.280	80	80	14.75

Código	pH	% Humedad	Densidad Aparente g/cm ³	Temperatura °C	Nitrógeno (N) (Kg/Ha)	Fósforo (P) (Kg/Ha)	Potasio (K) (Kg/Ha)	Materia Orgánica (%)
Muestra 2	5.34	45.83	0.12	20.4	0.280	150	150	14.87

Código	pH	% Humedad	Densidad Aparente g/cm ³	Temperatura °C	Nitrógeno (N) (Kg/Ha)	Fósforo (P) (Kg/Ha)	Potasio (K) (Kg/Ha)	Materia Orgánica (%)
Muestra 3	6.03	20.47	0.40	20.5	0.475	150	150	22.80

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

FMC2101-01

Página 2 de 2

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.

ANEXO 3. Ficha de registros de datos de las condiciones

Ambientales.

HORA	Tg°C	T b°C	Tg°C	HR %	Velocidad del viento m/s
9am					
10am					
11am					
12pm					
14pm					
15pm					
16pm					
17pm					

Fuente: Elaborado por el autor.

ANEXO 4. Datos de los promedios diarios del prototipo de jardín vertical de helechos (*Nephrolepis exaltata*) en convección natural.

Tabla 1. Promedios diarios de la Temperatura del bulbo húmedo.

Días	Promedio sin prototipo(Tbh°C)	Promedio con prototipo(Tbh°C)
Lunes	16,21	16,80
Martes	15,76	16,04
Miércoles	15,93	16,03
Jueves	14,75	15,06
Viernes	16,60	16,26

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 2. Promedios diarios de la Temperatura del bulbo seco.

Días	Promedio sin prototipo(Tbs°C)	Promedio con prototipo(BS°C)
Lunes	18,58	18,63
Martes	17,9	17,44
Miércoles	17,4	16,85
Jueves	15,89	15,65
Viernes	18,48	16,98

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 3. Promedios diarios de la Temperatura del globo.

Días	Promedio sin prototipo(Tg°C)	Promedio con prototipo(Tg°C)
Lunes	19,15	18,86
Martes	18,56	16,64
Miércoles	18,08	17,40
Jueves	16,2	15,78
Viernes	19,41	17,29

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 4. Promedios diarios del Porcentaje de humedad relativa.

Días	Promedio sin prototipo(%HR)	Promedio con prototipo(%HR)
Lunes	65,25	76,50
Martes	73,13	78,00
Miércoles	76,38	82,00
Jueves	81,50	88,00
Viernes	73,00	82,50

Fuente: Elaborado por el autor.

ANEXO 5. Datos de los promedios diarios de las condiciones ambientales del prototipo de jardín vertical de helechos (*Nephrolepis exaltata*) en convección forzada.

Tabla 1. Promedios diarios de la Temperatura del bulbo húmedo.

DIAS	Promedio sin prototipo(Tbh °C)	Promedio con prototipo(Tbh °C)
Lunes	15,58	16,80
Martes	15,69	17,19
Miércoles	15,05	16,53
Jueves	15,06	16,64
Viernes	15,01	16,60

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 2. Promedios diarios de la Temperatura del bulbo seco.

DIAS	Promedio sin prototipo(Tbs °C)	Promedio con prototipo(Tbs °C)
Lunes	19,65	17,86
Martes	20,24	18,43
Miércoles	18,65	17,16
Jueves	18,88	17,26
Viernes	19,41	18,19

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 3. Promedios diarios de la Temperatura del globo.

DIAS	Promedio sin prototipo(Tg °C)	Promedio con prototipo(Tg °C)
Lunes	20,15	18,09
Martes	20,85	18,81
Miércoles	19,10	17,44
Jueves	19,63	18,03
Viernes	20,11	18,83

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 4. Promedios diarios del Porcentaje de humedad relativa.

DIAS	Promedio sin prototipo(%H.R)	Promedio con prototipo(%H.R)
Lunes	62,13	81,38
Martes	61,25	80,88
Miércoles	65,38	86,00
Jueves	63,75	84,75
Viernes	56,25	73,88

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 5. Promedios diarios de la velocidad del viento.

DIAS	Promedio sin prototipo(m/s)	Promedio con prototipo(m/s)
Lunes	0,84	0,90
Martes	0,86	0,91
Miércoles	0,78	0,97
Jueves	0,89	0,91
Viernes	0,89	0,96

Fuente: Elaborado por el autor.

ANEXO 6. Datos de los promedios diarios de las condiciones ambientales con y sin prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en las cabinas en convección natural.

Tabla 1. Promedios diarios de la Temperatura del bulbo húmedo.

Días	Promedio sin prototipo(Tbh°C)	Promedio con prototipo(Tbh°C)
Lunes	15,79	17,01
Martes	16,10	17,10
Miércoles	16,38	17,70
Jueves	15,79	17,20
Viernes	16,94	17,95

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 2. Promedios diarios de la Temperatura del bulbo seco.

Días	Promedio sin prototipo(Tbs°C)	Promedio con prototipo(Tbs°C)
Lunes	18,89	17,95
Martes	19,29	18,58
Miércoles	19,86	18,84
Jueves	19,09	18,11
Viernes	19,39	17,61

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 3. Promedios diarios de la Temperatura del globo.

Días	Promedio sin prototipo(Tg°C)	Promedio con prototipo(Tg°C)
Lunes	20,04	18,83
Martes	20,81	19,25
Miércoles	21,33	19,96
Jueves	20,03	18,71
Viernes	18,18	19,90

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 4. Promedios diarios del Porcentaje de humedad relativa.

Días	Promedio sin prototipo(%HR)	Promedio con prototipo (%HR)
Lunes	62,75	76,88
Martes	63,25	75,75
Miércoles	60,13	75,63
Jueves	60,13	79,00
Viernes	68,00	79,63

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 5. Promedios diarios de la velocidad del viento.

Días	Promedio sin prototipo(m/s)	Promedio con prototipo(m/s)
Lunes	0,0	0,0
Martes	0,0	0,0
Miércoles	0,0	0,0
Jueves	0,0	0,0
Viernes	0,0	0,0

Fuente: Elaborado por el autor.

ANEXO 7. Datos de los promedios diarios de las condiciones ambientales con y sin prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en las cabinas en convección forzada.

Tabla 1. Promedios diarios de la Temperatura del bulbo húmedo.

Días	Promedio sin prototipo(Tbh°C)	Promedio con prototipo(Tbh°C)
Lunes	16,39	18,11
Martes	16,30	18,01
Miércoles	15,66	17,20
Jueves	15,61	16,95
Viernes	15,78	16,63

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 2. Promedios diarios de la Temperatura del bulbo seco.

Días	Promedio sin prototipo(Tbh°C)	promedio con prototipo(Tbh°C)
Lunes	19,83	19,28
Martes	20,05	18,70
Miércoles	20,25	18,91
Jueves	19,94	18,59
Viernes	20,44	18,29

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 3. Promedios diarios de la Temperatura del globo.

Días	Promedio sin prototipo(Tg°C)	Promedio con prototipo(Tg°C)
Lunes	20,31	19,71
Martes	20,63	19,25
Miércoles	20,89	19,56
Jueves	20,48	19,34
Viernes	20,96	19,19

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 4. Promedios diarios del Porcentaje de humedad relativa.

Días	Promedio sin prototipo(%HR)	Promedio con prototipo(%HR)
Lunes	61,25	78,13
Martes	63,88	84,75
Miércoles	59,00	75,75
Jueves	60,63	75,88
Viernes	59,50	75,38

Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla 5. Promedios diarios de la velocidad del viento.

DIAS	Promedio sin prototipo(m/s)	Promedio con prototipo(m/s)
Lunes	1,46	1,62
Martes	1,50	1,60
Miércoles	1,54	1,66
Jueves	1,65	1,73
Viernes	1,50	1,61

Fuente: Elaborado por el autor.

ANEXO 8. Decreto ejecutivo 2393 reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo.

MEDIO AMBIENTE Y RIESGOS LABORALES POR FACTORES FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS.

Art. 53. CONDICIONES GENERALES AMBIENTALES: VENTILACIÓN, TEMPERATURA Y HUMEDAD.

1. En los locales de trabajo y sus anexos se procurará mantener, por medios naturales o artificiales, condiciones atmosféricas que aseguren un ambiente cómodo y saludable para los trabajadores.
2. En los locales de trabajo cerrados el suministro de aire fresco y limpio por hora y trabajador será por lo menos de 30 metros cúbicos, salvo que se efectúe una renovación total del aire no inferior a 6 veces por hora.
3. La circulación de aire en locales cerrados se procurará acondicionar de modo que los trabajadores no estén expuestos a corrientes molestas y que la velocidad no sea superior a 15 metros por minuto a temperatura normal, ni de 45 metros por minuto en ambientes calurosos.
4. En los procesos industriales donde existan o se liberen contaminantes físicos, químicos o biológicos, la prevención de riesgos para la salud se realizará evitando en primer lugar su generación, su emisión en segundo lugar, y como tercera acción su transmisión, y sólo cuando resultaren técnicamente imposibles las acciones precedentes, se utilizarán los medios de protección personal, o la exposición limitada a los efectos del contaminante.
5. (Reformado por el Art. 26 del D.E. 4217, R.O. 997, 10-VIII-88) Se fijan como límites normales de temperatura °C de bulbo seco y húmedo aquellas que en el gráfico de confort térmico indiquen una sensación confortable; se deberá condicionar los locales de trabajo dentro de tales límites, siempre que el proceso de fabricación y demás condiciones lo permitan.

6. En los centros de trabajo expuestos a altas y bajas temperaturas se procurará evitar las variaciones bruscas.

7. En los trabajos que se realicen en locales cerrados con exceso de frío o calor se limitará la permanencia de los operarios estableciendo los turnos adecuados. 8. (Reformado por el Art. 27 del D.E. 4217, R.O. 997, 10-VIII-88) Las instalaciones generadoras de calor o frío se situarán siempre que el proceso lo permita con la debida separación de los locales de trabajo, para evitar en ellos peligros de incendio o explosión, desprendimiento de gases nocivos y radiaciones directas de calor, frío y corrientes de aire perjudiciales para la salud de los trabajadores.

Art. 54. CALOR.

1. En aquellos ambientes de trabajo donde por sus instalaciones o procesos se origine calor, se procurará evitar el superar los valores máximos establecidos en el numeral 5 del artículo anterior. 2. Cuando se superen dichos valores por el proceso tecnológico, o circunstancias ambientales, se recomienda uno de los métodos de protección según el caso:

a) Aislamiento de la fuente con materiales aislantes de características técnicas apropiadas para reducir el efecto calorífico.

b) Apantallamiento de la fuente instalando entre dicha fuente y el trabajador pantallas de materiales reflectantes y absorbentes del calor según los casos, o cortinas de aire no incidentes sobre el trabajador. Si la visibilidad de la operación no puede ser interrumpida serán provistas ventanas de observación con vidrios especiales, reflectantes de calor.

c) Alejamiento de los puestos de trabajo cuando ello fuere posible.

d) Cabinas de aire acondicionado e) (Reformado por el Art. 29 del D.E. 4217, R.O. 997, 10-VIII-88) Se regularán los períodos de actividad, de conformidad al (TGBH), índice de temperatura de Globo y Bulbo Húmedo, cargas de trabajo (liviana, moderada, pesada), conforme al siguiente cuadro:

CARGA DE TRABAJO TIPO DE TRABAJO LIVIANA MODERADA PESADA

Inferior a 200 De 200 a 350 Igual o mayor Kcal/hora Kcal/hora 350 kcal/hora Trabajo continuo 75% trabajo TGBH = 30.0 TGBH = 26.7 TGBH = 25.0 25% descanso cada hora. TGBH = 30.6 TGBH = 28.0 TGBH = 25.9 50% trabajo, 50% descanso, cada hora. TGBH = 31.4 TGBH = 29.4 TGBH = 27.9 25% trabajo, 75% descanso, cada hora. TGBH = 32.2 TGBH = 31.1 TGBH = 30.0