

2020

Universidad Autónoma  
de Yucatán  
Maestría en Arquitectura



## **AMBIENTE TÉRMICO PEATONAL POR EFECTO DE LAS VARIACIONES DE COBERTURA DE COPA DEL ARBOLADO URBANO EN MÉRIDA, YUCATÁN**

Línea de investigación: Tecnología y medio ambiente

En opción al grado de  
**Maestro en Arquitectura**

**Presenta**  
**Arq. Rubicel Enrique López Vázquez**  
Becario CONACYT N°. 861391

### **Asesores**

Tutor

Dr. Raúl Ernesto Canto Cetina

Asesor Interno

Dr. Manuel Arturo Román Kalisch

Asesor externo

Dr. Juan Tun Garrido

## AGRADECIMIENTOS

A mi madre y mis abuelos.

A mis maestros:

Al Dr. Raúl Ernesto Canto Cetina por su guía y dedicación.

A mis asesores Dr. Arturo Román Kalisch y Dr. Juan Tun Garrido agradezco enormemente su tiempo y apoyo para la conclusión de este trabajo.

A mis compañeros, en especial: a Mariana, Frida e Irving, por su apoyo moral y compañía durante la redacción del documento. A Miguel, Juan y Edgar por soportar nuestros momentos de estrés e impulsarnos a concluir.

A Omar, Rodrigo y Ricardo por su apoyo durante el trabajo de campo para la recolección de datos.

A través de la presente y bajo protesta  
de decir verdad, declaro que:  
Este documento es de mi propia autoría,  
con excepción de las citas en las que  
he dado crédito a sus autores originales;  
asimismo, afirmo que este trabajo  
no ha sido propuesto previamente  
para la obtención de algún  
Título Profesional o de grado académico.

Rubicel Enrique López Vázquez

## RESUMEN

El estado de Yucatán, México, se caracteriza por sus elevadas temperaturas que han aumentado más en los últimos años. En la capital, Mérida, estas temperaturas se incrementan por el fenómeno conocido como isla de calor. Como resultado, la sensación térmica es muy incómoda en los espacios urbanos exteriores públicos debido a la temperatura del aire, el calor radiante del sol, de las superficies del suelo y de las construcciones.

Este estudio aborda el papel de la sombra de los árboles como recurso para el acondicionamiento térmico exterior, ya que en la región es en el período previo a la temporada de lluvias cuando se alcanzan las máximas temperaturas, los rayos solares se acercan más a la verticalidad y alcanzan su máxima intensidad, por lo que la vegetación tiene menos follaje proporcionando menos sombra. El objetivo del trabajo fue determinar la relación entre densidad de cobertura de copa (transmitancia) de algunas especies del arbolado urbano y las condiciones bajo sus sombras, para encontrar las especies con mejor desempeño en términos de confort térmico peatonal.

El contenido del documento se divide en cuatro capítulos. En el capítulo I se describe la revisión del estado del arte en el ámbito local, nacional e internacional, así como los casos análogos que ayudaron a definir el enfoque metodológico del estudio. En el segundo capítulo se establece el marco teórico conceptual a partir de las categorías de espacio público y confort térmico, se establece la relevancia social de propiciar trayectos peatonales cómodos y los aspectos funcionales y espaciales que intervienen, así como las condiciones que determinan el confort térmico y la importancia del arbolado urbano en el acondicionamiento de espacios exteriores. Se selecciona un índice de confort para la evaluación de los ambientes térmicos, a partir de la revisión historiográfica del origen y evolución de éstos.

En el capítulo III se plantea el proceso metodológico: se establecen los criterios para la selección de la muestra, lo cual fue a partir de recorridos urbanos considerando alturas y formas semejantes de la estructura de los árboles, así como aspectos de la morfología de las vialidades. Posteriormente, se describen los antecedentes históricos y características físicas de las vialidades de la zona de estudio. Se describen también las características de las especies muestreadas y la logística del trabajo de campo, este consistió en la medición de transmitancia de la cobertura de copa, mediante el uso de un software de procesamiento de imágenes Imagej, y la medición de las variables que afectan la sensación térmica mediante estaciones microclimáticas Delta OHM, de acuerdo con el estándar 55-2004 de ASHRAE (2004).

En el capítulo IV, se presenta el procesamiento estadístico de los datos y se analizan y discuten los resultados. Por último, se presentan las conclusiones sobre los resultados en función de los objetivos de la investigación y consideraciones finales.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
Planteamiento del problema .....	2
Preguntas de investigación .....	5
Hipótesis .....	6
Objetivo general.....	6
Objetivos particulares .....	6
Justificación .....	7
<b>CAPÍTULO I ANTECEDENTES.....</b>	<b>9</b>
1.1 Estado del arte .....	9
1.2 Casos análogos .....	10
1.2.1 Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producidas por el arbolado urbano Barcelona.....	10
1.2.2 Evaluación energético-ambiental del bosque urbano.....	13
1.2.3 Permeabilidad del arbolado a la radiación solar.....	14
1.2.4 Modelado del efecto microclimático de especies del arbolado urbano con variaciones en la morfología de las calles de la ciudad mediterránea de Tel Aviv, Israel.....	15
1.2.5 Efecto del sembrado urbano y especies arbóreas en el confort térmico en los trópicos.....	17
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL .....</b>	<b>19</b>
2.1 El espacio público .....	19
2.1.1 Dimensión espacial .....	19
2.1.2 Dimensión funcional.....	20
2.1.3 Dimensión social.....	21
2.1.4 La calle .....	22
2.2 Confort climático .....	25
2.2.1 Clima urbano .....	25
2.2.2 Modificadores del clima urbano.....	26
2.2.3 Condiciones climáticas locales.....	28

2.3 Confort térmico.....	29
2.3.1 Acondicionamiento térmico urbano .....	31
2.3.2 La vegetación en el acondicionamiento térmico.....	32
2.3.3 Arbolado urbano y ambiente térmico.....	34
2.3.4 Arbolado urbano en el clima local.....	36
2.3.5 Normatividad y políticas públicas sobre las calles y el arbolado urbano de la ciudad de Mérida .....	37
2.3.6 Revisión de índices de confort térmico .....	47
2.3.7 Elección de índice de confort.....	53
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA .....</b>	<b>55</b>
<b>3.1 Características de la investigación.....</b>	<b>55</b>
3.1.1 Enfoque del estudio.....	55
3.1.2 Esquema metodológico .....	56
<b>3.2 Delimitación del estudio .....</b>	<b>57</b>
3.2.1 Selección de la muestra .....	57
3.2.2 Delimitación de la muestra.....	58
3.2.3 Transversalidad del estudio .....	58
3.3 Diseño del experimento .....	59
3.3.1 Variables y sus indicadores .....	59
3.3.2 Instrumentos conceptuales .....	60
3.3.3 Instrumentos operacionales.....	65
3.4 Sobre el trabajo de campo .....	71
3.4.1 Zona de estudio seleccionada.....	71
3.4.2 Especies arbóreas seleccionadas .....	80
3.4.3 Logística del trabajo de campo .....	87
<b>CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>95</b>
4.1 Variabilidad del ambiente térmico urbano.....	95
4.1.1 Variabilidad de la temperatura del aire .....	95
4.1.2 Variabilidad de la temperatura radiante .....	96
4.1.3 Variabilidad de la humedad relativa.....	97
4.1.4 Variabilidad de la velocidad del aire .....	99
4.1.5 Variabilidad de la transmitancia de fronda .....	100

4.2 Evaluación de ambientes térmicos con índice de confort .....	103
4.2.1 Resultados para el mes de octubre, periodo 1 .....	104
4.2.2 Resultados para el mes de abril, periodo 2.....	106
4.3 Análisis de correlación transmitancia - ambiente térmico .....	108
4.3.1 Coeficientes de correlación por periodo .....	108
4.3.2 Coeficientes de correlación por especie arbórea .....	111
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>119</b>
5.1 Conclusiones sobre las variaciones del ambiente térmico por el arbolado urbano	119
5.2 Conclusiones sobre la correlación transmitancia, ambiente térmico y percepción de confort.....	120
5.3 Recomendaciones para la selección de arbolado urbano en función del acondicionamiento térmico de trayectos peatonales.....	121
5.4 Consideraciones finales.....	123
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>125</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>129</b>

## LISTA DE IMÁGENES

IMAGEN 1. ESTACIÓN METEOROLÓGICA CON SENSORES PARA REGISTRO DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS. FUENTE: DELTA OHM MANUAL DE INSTRUCCIONES.	66
IMAGEN 2. UNIDAD DIGITAL DE LA ESTACIÓN Y CONEXIONES PARA SENSORES. FUENTE: DELTA OHM MANUAL DE INSTRUCCIONES.	67
IMAGEN 3. SONDA TERMÓMETRO DE GLOBO. FUENTE: DELTA OHM MANUAL DE INSTRUCCIONES.	68
IMAGEN 4. SONDA DE HILO CALIENTE. FUENTE: DELTA OHM MANUAL DE INSTRUCCIONES.	69
IMAGEN 5. SONDA DE BULBO HÚMEDO. FUENTE: DELTA OHM MANUAL DE INSTRUCCIONES.	69
IMAGEN 6. SONDA COMBINADA DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA. FUENTE: DELTA OHM MANUAL DE INSTRUCCIONES.	70
IMAGEN 7. HOBO CON PROTECTOR SOLAR. FUENTE: ALPHAOMEGA ELECTRONICS.	71
IMAGEN 8. EL PASEO DE MONTEJO EN LA ACTUALIDAD. FUENTE: IMAGEN DE AUTORÍA PROPIA.	73
IMAGEN 9. ARBOLADO URBANO DEL PASEO DE MONTEJO. FUENTE: IMAGEN DE AUTORÍA PROPIA.	75
IMAGEN 10. AVENIDA REFORMA EN LA ACTUALIDAD. FUENTE: IMAGEN DE AUTORÍA PROPIA.	76
IMAGEN 11. AVENIDA COLÓN EN LA ACTUALIDAD. FUENTE: IMAGEN DE AUTORÍA PROPIA.	77
IMAGEN 12. EL PASEO DE MONTEJO EN DOMINGO, DURANTE EL EVENTO “BICI RUTA” EL CUAL SE LLEVA A CABO CADA DOMINGO DE 7AM A 12PM, DESDE EL AÑO 2006. FUENTE: IMAGEN DE AUTORÍA PROPIA.	78
IMAGEN 13. EJEMPLAR DE <i>BROSIMUN</i> , <i>ALICASTRUM</i> EN PASEO DE MONTEJO. FUENTE: IMAGEN DE AUTORÍA PROPIA.	80
IMAGEN 14. EJEMPLAR DE <i>TAMARINDUS INDICA</i> EN AVENIDA REFORMA. FUENTE: IMAGEN DE AUTORÍA PROPIA.	82
IMAGEN 15. EJEMPLAR DE <i>EHRETIA TINIFOLIA</i> EN AVENIDA COLÓN. FUENTE: IMAGEN DE AUTORÍA PROPIA.	84
IMAGEN 16. EJEMPLAR DE <i>TABEBUIA ROSEA</i> EN AVENIDA COLÓN. FUENTE: IMAGEN DE AUTORÍA PROPIA.	86

IMAGEN 17. ESTACIÓN CLIMÁTICA BAJO RAMÓN EN ZONA DE PASEO DE MONTEJO. FUENTE: IMAGEN DE AUTORÍA PROPIA.	91
IMAGEN 18. HOBO CON PROTECCIÓN SOLAR, EN LA ZONA DE AVENIDA REFORMA. FUENTE: IMAGEN DE AUTORÍA PROPIA.	93

## **LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL ESTADO DE YUCATÁN Y LA CIUDAD DE MÉRIDA EN LA REPÚBLICA MEXICANA. LA UBICACIÓN DE LA CIUDAD EN LA PENÍNSULA DETERMINA EN GRAN MEDIDA EL CLIMA PREDOMINANTE: SEGÚN EL SISTEMA KÖPPEN, MODIFICADO POR GARCÍA: "AWO"IG. "CÁLIDO, CON TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE 25.9 °C, ES EL SUBHÚMEDO DE MENOR HUMEDAD CON RÉGIMEN DE LLUVIAS DE VERANO Y PRESENCIA DE CANÍCULA, SIENDO MAYO EL MES MÁS CALUROSO. (CANTO, 2008). FUENTE: GOOGLE EARTH 2018.	3
FIGURA 2. ESQUEMA DE PROBLEMATIZACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	4
FIGURA 3. PUNTOS DE MEDICIÓN PLANTEADOS POR ROJAS. FUENTE: ROJAS COTORREAL, 2016.	11
FIGURA 4. PROCESAMIENTO DE FOTOGRAFÍAS DE FRONDA. A) ESPECIE MEDIDA EN CONDICIONES AISLADAS ( <i>PLATANUS ACERIFOLIA</i> ). B) IMAGEN PROCESADA, TOMADA DESDE UNA DE LAS GRILLAS LOCALIZADAS EN LA SOMBRA ARROJADA POR LA COPA. FUENTE: CANTÓN (1994).	14
FIGURA 5. ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA DENSIDAD DE COPA. FUENTE: ARBOIT (2015).	15
FIGURA 6. PROCEDIMIENTO DE MODELADO DEL MICROCLIMA DE ESPACIOS ABIERTOS URBANOS. FUENTE: SASHUA-BAR (2015).	16
FIGURA 7. INDIVIDUOS DE ÁRBOLES Y AGRUPACIONES ESTUDIADAS. FUENTE: ABREU-HARBICH, 2015.	18
FIGURA 8. CONCEPTOS DERIVADOS DEL ESPACIO PÚBLICO URBANO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	22
FIGURA 9. DISTRIBUCIÓN ESQUEMÁTICA DE LA INCIDENCIA DE RADIACIÓN SOLAR EN A) CAMPO ABIERTO, B) ÁREA CONSTRUIDA CON RELACIÓN H/W DE 1, Y C) ÁREA CON ALTA DENSIDAD CONSTRUIDA Y RELACIÓN H/W DE 4. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A GIVONI.	27
FIGURA 10. PROCESOS QUE INCIDEN EN LA REGULACIÓN DEL BALANCE ENERGÉTICO DE UN INDIVIDUO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A FABBRI K.	30

FIGURA 11. CONCEPTOS DERIVADOS DEL CONFORT CLIMÁTICO EXTERIOR, SE MUESTRA LAS VARIABLES EN LAS QUE INCIDE LA VEGETACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	36
FIGURA 12. TAMAÑO DE ALGUNAS DE LAS ESPECIES MÁS COMUNES EN EL MUNICIPIO DE MÉRIDA, POR SU NOMBRE COMÚN. FUENTE: AYUNTAMIENTO DE MÉRIDA 2015-2018.	43
FIGURA 13. CUALIDADES DEL ESPACIO PÚBLICO EXITOSO. FUENTE: COMEY-FAUADY, 2016.	47
FIGURA 14. DIAGRAMA PSICROMÉTRICO MOSTRANDO LAS SEIS PRINCIPALES TÉCNICAS DE DISEÑO PASIVO PARA LA CONDICIÓN CLIMÁTICA DE LA CIUDAD DE MÉRIDA, YUCATÁN. FUENTE: DÍAZ SALAZAR, 2017.	51
FIGURA 15. VARIABLES QUE CONSIDERA EL ÍNDICE DE CONFORT UNIVERSAL (UTCI). FUENTE: UTCI, 2018.	53
FIGURA 16. POLÍGONO DE ESTUDIO Y LOCALIZACIÓN DE LAS VIALIDADES QUE LO DELIMITAN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	72
FIGURA 17. COMPARATIVO DE LAS DIMENSIONES EN CORTE DE LAS VIALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO Y VIALIDADES SEGÚN REGLAMENTO DE CONSTRUCCIÓN 2008. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	79
FIGURA 18. CARACTERÍSTICAS DE ESPECIES SELECCIONADAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.	87
FIGURA 19. INTERFAZ DE LA CALCULADORA DE CONFORT. FUENTE: RECUPERADO DE <a href="http://COMFORT.CBE.BERKELEY.EDU">HTTP://COMFORT.CBE.BERKELEY.EDU</a>	89
FIGURA 20. INTERFAZ DEL SOFTWARE IMAGEJ. FUENTE: RECUPERADO DE <a href="https://imagej.nih.gov/ij">HTTPS://IMAGEJ.NIH.GOV/IJ</a>	89
FIGURA 21. POLÍGONO DE ESTUDIO Y LOCALIZACIÓN DE LOS EJEMPLARES SELECCIONADOS PARA EL TRABAJO DE CAMPO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	92
FIGURA 22. VARIACIONES DE FRONDA EN LA ESPECIE RAMÓN PARA EL PERIODO 1 Y 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	101
FIGURA 23. VARIACIONES DE FRONDA EN LA ESPECIE ROBLE PARA EL PERIODO 1 Y 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	101
FIGURA 24. VARIACIONES DE FRONDA EN LA ESPECIE TAMARINDO PARA EL PERIODO 1 Y 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	102
FIGURA 25. VARIACIONES DE FRONDA EN LA ESPECIE MACULIS PARA EL PERIODO 1 Y 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	103

**LISTA DE TABLAS**

TABLA 1. ANÁLISIS DE ESPECIES ARBÓREAS EN VERANO DE 2015, RESUMEN. FUENTE: COTORREAL, 2015.	12
TABLA 2. NIVELES Y PARÁMETROS DE LOS 6 ATRIBUTOS ESTUDIADOS DE TRES ESPECIES. DATOS EN VERANO, ÁREA DE TEL AVIV, ISRAEL. FUENTE: SASHAI-BAR, 2015.	17
TABLA 3. BALANCE TÉRMICO DE UN INDIVIDUO EXPUESTO AL EXTERIOR EN UN DÍA CALUROSO. FUENTE: ÁLVAREZ DOMÍNGUEZ, SERVANDO (1992).	31
TABLA 4. ESTRATEGIAS DE ACONDICIONAMIENTO DE ESPACIOS ABIERTOS. FUENTE: ÁLVAREZ DOMÍNGUEZ, SERVANDO (1992).	33
TABLA 5. PROPIEDADES RADIANTES DE LOS MATERIALES DE COBERTURA. FUENTE: ÁLVAREZ DOMÍNGUEZ, SERVANDO (1992).	33
TABLA 6. COMPARATIVO DE LAS DIMENSIONES DE LAS VIALIDADES EN LOS DIFERENTES REGLAMENTOS DE 1985 A 2019. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	40
TABLA 7. ESTRUCTURA NORMATIVA RELATIVA A LOS ESPACIOS PÚBLICOS. FUENTE: COMEY-UADY, 2016.	45
TABLA 8. ÍNDICES DE CONFORT RACIONALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN PARSON 2003, NIOSH 1986.	49
TABLA 9. ÍNDICES DE CONFORT EMPÍRICOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN PARSON 2003, NIOSH 1986.	50
TABLA 10. A) ESCALA DE UN ÍNDICE DE CONFORT REGIONAL (TEP) COMPARADO CON B) ÍNDICE DE CONFORT UNIVERSAL (UTCI). FUENTE: MARQUES MONTEIRO, 2009. UTCI, 2018.	52
TABLA 11. SE MUESTRAN LAS VARIABLES E INDICADORES CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	60
TABLA 12 HORARIOS POR DÍA Y ROL DE MEDICIONES CORRESPONDIENTE AL PERIODO 1 (OCTUBRE DE 2018).	92
TABLA 13. HORARIOS POR DÍA Y ROL DE MEDICIONES CORRESPONDIENTE AL PERIODO 2 (ABRIL DE 2019).	94
TABLA 14. VALORES CRÍTICOS DE LA VARIABLE (TA) TEMPERATURA DEL AIRE, PARA EL PERIODO 1 Y 2.	96
TABLA 15. VALORES CRÍTICOS DE LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA RADIANTE (TR) PARA EL PERIODO 1 Y 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	97
TABLA 16. VARIACIONES DE LA VELOCIDAD DEL AIRE (VA) BAJO LA COPA DE LOS ÁRBOLES PARA EL PERIODO 1 Y 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	99

TABLA 17. VARIABLES MÁS REPRESENTATIVAS Y EVALUACIÓN DE LOS AMBIENTES TÉRMICOS CON ÍNDICE DE CONFORT PARA EL PERIODO 1.	106
TABLA 18. VARIABLES MÁS REPRESENTATIVAS Y EVALUACIÓN DE LOS AMBIENTES TÉRMICOS CON ÍNDICE DE CONFORT PARA EL PERIODO 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	107
TABLA 19. CORRELACIONES DE LOS EJEMPLARES DE RAMÓN CON EL AMBIENTE TÉRMICO URBANO E ÍNDICES DE CONFORT PARA EL PERIODO 1 Y 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	113
TABLA 20. CORRELACIONES DE LOS EJEMPLARES DE ROBLE CON EL AMBIENTE TÉRMICO URBANO E ÍNDICES DE CONFORT PARA EL PERIODO 1 Y 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	114
TABLA 21. CORRELACIONES DE LOS EJEMPLARES DE TAMARINDO CON EL AMBIENTE TÉRMICO URBANO E ÍNDICES DE CONFORT PARA EL PERIODO 1 Y 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	116
TABLA 22. CORRELACIONES DE LOS EJEMPLARES DE MACULIS CON EL AMBIENTE TÉRMICO URBANO E ÍNDICES DE CONFORT PARA EL PERIODO 1 Y 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	117

**LISTA DE GRÁFICAS**

GRÁFICA 1. COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE HR (HUMEDAD RELATIVA) EN LA ZONA DE AV. REFORMA EN EL MES DE OCTUBRE, PERIODO 1. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	98
GRÁFICA 2. COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE HR (HUMEDAD RELATIVA) EN LA ZONA DE AV. REFORMA EN EL MES DE ABRIL, PERIODO 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	98
GRÁFICA 3. CORRELACIÓN TRANSMITANCIA VS $\Delta T_A$ PARA EL MES DE OCTUBRE, PERIODO 1. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	109
GRÁFICA 4. CORRELACIÓN TRANSMITANCIA VS $\Delta T_A$ PARA EL MES DE ABRIL, PERIODO 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	109
GRÁFICA 5. CORRELACIÓN TRANSMITANCIA VS $\Delta T_R$ PARA EL MES DE OCTUBRE, PERIODO 1. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	109
GRÁFICA 6. CORRELACIÓN TRANSMITANCIA VS $\Delta T_R$ PARA EL MES DE ABRIL, PERIODO 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	110
GRÁFICA 7. CORRELACIÓN TRANSMITANCIA VS $\Delta PDD$ PARA EL MES DE OCTUBRE, PERIODO 1. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	110

GRÁFICA 8. CORRELACIÓN TRANSMITANCIA VS $\Delta$ PDD PARA EL MES DE ABRIL, PERIODO 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	110
GRÁFICA 9. CORRELACIÓN TRANSMITANCIA VS $\Delta$ PDD PARA EL MES DE OCTUBRE, PERIODO 1. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	111
GRÁFICA 10. CORRELACIÓN TRANSMITANCIA VS $\Delta$ PDD PARA EL MES DE ABRIL, PERIODO 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	111
GRÁFICA 11. PUNTOS DE CORRELACIÓN Y LÍNEA DE TENDENCIA PARA LOS EJEMPLARES DE LA ESPECIE RAMÓN, CORRELACIÓN TRANSMITANCIA-SET PARA EL MES DE OCTUBRE, PERIODO 1. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	113
GRÁFICA 12. PUNTOS DE CORRELACIÓN Y LÍNEA DE TENDENCIA PARA LOS EJEMPLARES DE LA ESPECIE RAMÓN, CORRELACIÓN TRANSMITANCIA-SET PARA EL MES DE OCTUBRE, PERIODO 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	113
GRÁFICA 13. PUNTOS DE CORRELACIÓN Y LÍNEA DE TENDENCIA PARA LOS EJEMPLARES DE LA ESPECIE TAMARINDO, CORRELACIÓN TRANSMITANCIA-SET PARA EL MES DE OCTUBRE, PERIODO 1. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	115
GRÁFICA 14. PUNTOS DE CORRELACIÓN Y LÍNEA DE TENDENCIA PARA LOS EJEMPLARES DE LA ESPECIE TAMARINDO, CORRELACIÓN TRANSMITANCIA-SET PARA EL MES DE ABRIL, PERIODO 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	115
GRÁFICA 15. PUNTOS DE CORRELACIÓN Y LÍNEA DE TENDENCIA PARA LOS EJEMPLARES DE LA ESPECIE TAMARINDO, CORRELACIÓN TRANSMITANCIA-SET PARA EL PERIODO 1. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	116
GRÁFICA 16. PUNTOS DE CORRELACIÓN Y LÍNEA DE TENDENCIA PARA LOS EJEMPLARES DE LA ESPECIE TAMARINDO, CORRELACIÓN TRANSMITANCIA-SET PARA EL PERIODO 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	116
GRÁFICA 17. PUNTOS DE CORRELACIÓN Y LÍNEA DE TENDENCIA PARA LOS EJEMPLARES DE LA ESPECIE MACULIS, CORRELACIÓN TRANSMITANCIA-SET PARA EL MES DE OCTUBRE, PERIODO 1. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	118
GRÁFICA 18. PUNTOS DE CORRELACIÓN Y LÍNEA DE TENDENCIA PARA LOS EJEMPLARES DE LA ESPECIE MACULIS, CORRELACIÓN TRANSMITANCIA-SET PARA EL MES DE ABRIL, PERIODO 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	118

# **AMBIENTE TÉRMICO PEATONAL POR EFECTO DE LAS VARIACIONES DE COBERTURA DE COPA DEL ARBOLADO URBANO EN MÉRIDA, YUCATÁN**

## **INTRODUCCIÓN**

Mejorar la movilidad urbana es uno de los grandes retos que presentan las ciudades hoy día por las implicaciones que los desplazamientos motorizados tienen a nivel ambiental, de salud y económico. Si bien, el término de movilidad hace referencia tanto a los desplazamientos motorizados como los no motorizados, las acciones internacionales están encaminadas en lograr una “movilidad sostenible” la cual está enfocada en disminuir los traslados motorizados individuales privilegiando los desplazamientos peatonales, el uso de la bicicleta y el transporte colectivo.

En este sentido las ciudades con climas tropicales como el nuestro, enfrentan un reto aún mayor, ya que, para lograr las condiciones necesarias para aumentar la movilidad sostenible, se deben atender problemas no sólo de infraestructura, seguridad y accesibilidad sino que también se deben tomar en cuenta los factores ambientales locales, es decir proporcionar protección al peatón ante las altas temperaturas y altos índices de radiación solar que se presentan durante la mayor parte del año.

Al respecto, la revisión del estado del arte en términos de ambientes térmicos en espacios exteriores<sup>1</sup>, señala la necesidad de proteger al individuo de la radiación solar directa e indirecta, ya sea a través de elementos naturales como el arbolado o artificiales, como pérgolas y mallas.

Si bien el arbolado juega un papel importante en el espacio público tanto por sus características estéticas y por el mejoramiento de las condiciones

---

<sup>1</sup> Erell, E. (2010). Nyuk-Hien Wong y Yu Chen abordan en el artículo “*El papel del verde urbano en las ciudades compactas*” la importancia de las diferentes coberturas vegetales de la ciudad, la relación de los conceptos; clima, construcciones y vegetación, así como los desafíos de incorporar vegetación para el confort peatonal y el acondicionamiento de espacios interiores.

ambientales. Múltiples autores y estudios señalan que la presencia del arbolado urbano también juega un papel fundamental en el acondicionamiento térmico del espacio público y sus beneficios impactan tanto a nivel microclima como en el funcionamiento metabólico de los sistemas urbanos, la habitabilidad de la ciudad y la salud de la población.

Tales aspectos, no se han abordado desde el enfoque bioclimático de manera particular para la ciudad de Mérida, por lo que la presente investigación tiene como objetivo identificar cual es el efecto de las variaciones de la densidad de cobertura de copa del arbolado urbano en el ambiente térmico de espacios exteriores e identificar aspectos para la selección e implementación de especies arbóreas en función del confort térmico peatonal.

### **Planteamiento del problema**

La ciudad de Mérida presenta un clima tropical cálido húmedo, con lluvias en verano y una temperatura promedio de 26° C y máxima anual de 41° C, según el centro hidrometeorológico de Yucatán (INEGI 2015). Se presentan 3 temporadas climáticas, la cálida seca, la calida húmeda y la fresca (Canto, 2008); su vegetación es de tipo selva baja caducifolia, que pierde la mayor parte de su follaje en la época de sequía, cuando se registran las temperaturas más altas.

Con estas condiciones Mérida es una ciudad cuyos ambientes se encuentran la mayor parte del año fuera de la zona de confort lo cual representa por si solo un reto de adaptación, a lo que se suma el aumento de las temperaturas por el calentamiento global, el uso de materiales con gran absorción de calor y el efecto de islas de calor.



Figura 1. Ubicación del Estado de Yucatán y la ciudad de Mérida en la República Mexicana. La ubicación de la ciudad en la península determina en gran medida el clima predominante: según el sistema Köppen, modificado por García: “awo”ig. “Cálido, con temperatura media anual de 25.9 °C, es el subhúmedo de menor humedad con régimen de lluvias de verano y presencia de canícula, siendo mayo el mes más caluroso. (Canto, 2008).

Fuente: Google Earth 2018.

Por otra parte, Mérida es también la capital del estado de Yucatán y cabecera de la zona metropolitana región VI, lo cual la convierte en una de las ciudades más importantes del sureste del país, alberga alrededor de 892,363 habitantes (INEGI, 2015) y su desarrollo económico y urbano la ha posicionado como una de las ciudades del país con mejor calidad de vida. Tal crecimiento ha detonado la especulación comercial del suelo y la aparición masiva de desarrollos inmobiliarios y como consecuencia de ello, la pérdida del paisaje natural y la proliferación de vehículos de automotor; la ciudad de Mérida presenta uno de los mayores índice de motorización del país con un promedio de un automóvil por cada dos habitantes, cifra que de mantenerse con la misma tasa de crecimiento

(treinta mil automóviles por año según INEGI, 2015) podría alcanzar la proporción de un automóvil por habitante para el año 2030.

Todo esto genera graves consecuencias ambientales las cuales aún no se hacen del todo visibles, pero que es necesario analizar para tomar las acciones pertinentes en la planeación urbana que permitan un crecimiento sostenible y garantizar la movilidad urbana, con el menor impacto posible. En este sentido el gobierno de Mérida ha implementado dos líneas de acción que cabe mencionar: una de ellas busca mejorar la conectividad y propiciar los desplazamientos no motorizados y la otra mejorar la cantidad y calidad del arbolado urbano. Sin embargo, la normativa que rige el crecimiento de la ciudad referente a desarrollos inmobiliarios tanto comerciales como habitacionales no corresponde a tales políticas, ni crea las condiciones normativas necesarias para lograr un arbolado urbano que permita mejorar las condiciones térmicas de los desplazamientos peatonales.

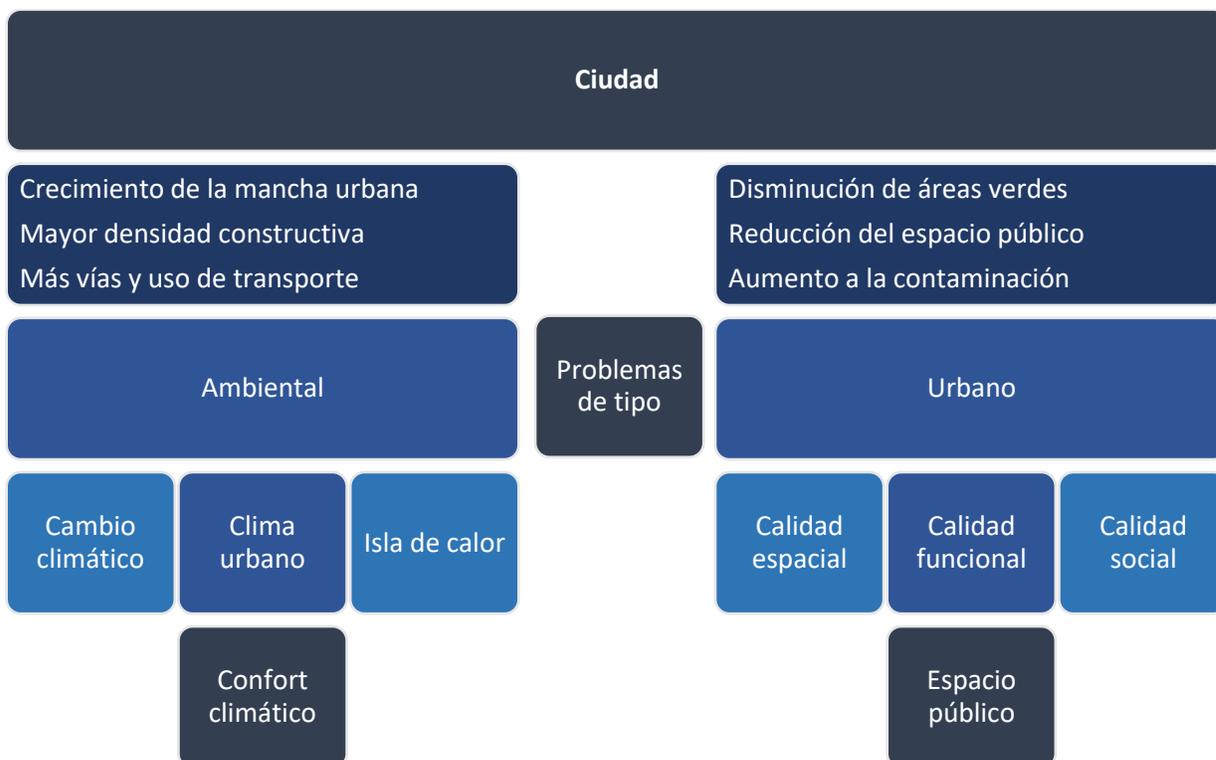


Figura 2. Esquema de problematización. Fuente: elaboración propia.

Cabe señalar que los estudios referentes a la vegetación realizados en el ámbito local, se han enfocado principalmente a la relación entre cantidad de área verde y densidad constructiva, otros a la descripción de la riqueza botánica regional, y unos más a la descripción de características físicas y biológicas de la vegetación para su uso en el espacio público y las vialidades, cabe mencionar que ninguno de ellos ha tomado una postura sobre los efectos del arbolado urbano en el ambiente térmico de las calles, ni sobre la importancia de tales ambientes en función de los desplazamientos peatonales de manera que se permita hacer consideraciones en el diseño de dicho espacio urbano a nivel práctico y normativo.

### **Preguntas de investigación**

Conocer la relación entre especies arbóreas que se usan en el espacio público urbano y el ambiente térmico que generan, tomando en cuenta el comportamiento estacional de las mismas durante la época de sequía, resulta necesario para su correcta implementación como modificador del ambiente térmico ya que su principal atributo para dicha función es generar sombreado. Ante esto, las especies que presentan poco follaje y aquellas que lo pierden durante la época de mayores temperaturas y mayor potencia solar incidente, resultan poco efectivas.

A partir de estas condiciones se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuál es el efecto de las variaciones de cobertura de copa del arbolado en las condiciones térmicas de espacios exteriores en términos de confort térmico peatonal?
- ¿Cuál es la relación entre las variaciones de la densidad de la cobertura de copa del arbolado y las variables que afectan el confort?

## Hipótesis

Las condiciones térmicas de los trayectos peatonales en las calles de la ciudad de Mérida pueden mejorarse a través del diseño urbano bioclimático, para lo cual deben considerarse factores como la morfología urbana, la orientación y la relación alto-ancho del paramento. En este sentido, el arbolado urbano es un recurso de gran importancia por su capacidad para interceptar la radiación solar y proporcionar sombra, sin embargo, en nuestra región la mayor parte de la vegetación es caducifolia, es decir pierde su follaje durante la época de mayores temperaturas y mayor intensidad de radiación solar.

Debido a lo anterior, se plantea la **hipótesis**:

Los árboles perennifolios son los más adecuados para el acondicionamiento de los trayectos peatonales puesto que las condiciones térmicas bajo su fronda dependen de la densidad de cobertura de su copa, debido a que no pierden follaje durante el periodo de mayores temperaturas y potencia solar, son los que brindan mejores condiciones térmicas durante más tiempo, en especial durante el periodo más caluroso.

## Objetivo general

Determinar el efecto de las variaciones de densidad de cobertura de copa ejemplares de Ramón (*Brosimum alicastrum*), Roble (*Ehretia tinifolia*), Tamarindo (*Tamarindus indica*) y Maculis (*Tabebuia Rosea*), en el ambiente térmico de los trayectos seleccionados y su relación con el confort térmico peatonal para el caso de la ciudad de Mérida.

## Objetivos particulares

- Cuantificar el efecto de las variaciones de densidad de cobertura de copa de las especies seleccionadas en las condiciones térmicas de los trayectos peatonales.

- Relacionar el efecto de las variaciones de cobertura de copa las especies seleccionadas y el ambiente térmico de los trayectos a través de un índice de confort. peatonales.
- Establecer recomendaciones para la selección de árboles urbanos en función del confort térmico de los trayectos peatonales.

### **Justificación**

Hacer la ciudad más caminable es importante no sólo por los beneficios para la salud asociados a caminar, sino también porque hacer las zonas más caminables mejora la calidad de vida de la población al incrementar la interacción social, la actividad económica, incrementa los valores de los predios y el turismo, además de múltiples beneficios ambientales derivados de la disminución del uso de medios motorizados de transporte. Una ciudad caminable se refiere a características del diseño urbano que favorecen los traslados a pie, brindando mayor accesibilidad con el entorno urbano inmediato. En este sentido múltiples autores, estudios e instrumentos gubernamentales como el Plan director del arbolado urbano de Barcelona (2017-2037) señalan, la importancia del arbolado urbano en la mejora del funcionamiento metabólico de los sistemas urbanos, la habitabilidad de la ciudad y la salud de la población.

Si bien en la ciudad de Mérida, existe el interés de mejorar la conectividad y hacer la ciudad de Mérida más caminable, tal como se manifiesta en documentos como el Plan maestro de movilidad urbana y Plan municipal de infraestructura verde, en ninguno de ellos se ha hecho énfasis en la necesidad de acondicionamiento térmico del espacio urbano, tan necesario en nuestro medio, ni se ha abordado el tema del arbolado urbano como modificador del ambiente térmico en función de los desplazamientos peatonales con una visión integral de los factores que determinan tales efectos, como son el emplazamiento del árbol, dimensiones de la poceta y la fronda y sus variaciones estacionales, mismos que se abordan en el presente documento.

Al respecto, los resultados de investigación permitirán a arquitectos y diseñadores urbanos, conocer los factores que determinan el efecto del arbolado en el ambiente térmico de la calle y las características de diferentes especies arbóreas en función de la variación estacional de fronda y su impacto en la percepción de confort, tales datos servirán para complementar los criterios de selección de especies que se implementen en el espacio urbano.

De igual manera, los resultados podrán ser tomados en cuenta por las autoridades y asociaciones que buscan la forestación de áreas públicas y mejorar las condiciones térmicas de las calles para de esta manera fomentar los desplazamientos peatonales, con lo que se pretende contribuir a la visión de una ciudad más caminable.

## CAPÍTULO I ANTECEDENTES

### 1.1 Estado del arte

Hay que mencionar que a nivel local, son pocos los estudios que han abordado la temática del confort climático exterior, uno de ellos es la tesis Doctoral *Evaluación de las diferencias, características y alteraciones por factores urbanos de las condiciones térmicas de una Ciudad de clima Cálido Húmedo: la Ciudad de Mérida como caso de estudio* (Canto, 2008), que trata sobre condiciones microclimáticas de la ciudad y el fenómeno de las islas de calor, sin embargo no existen estudios que analicen los efectos de la vegetación en microclimas exteriores específicos, como aceras, andadores y en general, todo tipo de vía caminable.

En cuanto al arbolado urbano, el tema ha cobrado relevancia en las últimas décadas en el ámbito local, muestra de esto son trabajos como el de *Arbolado Urbano en Mérida Yucatán* (Pérez Medina, 2008) en el cual se analiza la cobertura y composición del arbolado desde la perspectiva de la ecología urbana, relacionando la disponibilidad y calidad del arbolado a cuestiones de tipo socioeconómico y cultural.

Por lo que se refiere estudios realizados a partir de políticas públicas en el tema de vegetación urbana, podemos mencionar el *plan municipal de infraestructura verde* el cual busca a través de la reforestación y educación ambiental mejorar las condiciones del arbolado urbano en la Ciudad de Mérida; destaca también el *Sistema de espacios públicos de la zona metropolitana de Mérida* elaborado por la Coordinación Metropolitana de Yucatán en el cual se hace un diagnóstico de los espacios públicos de tipo parques urbanos y plantea desarrollar un sistema de conexión entre estos, así como el plan de movilidad urbana para la ciudad de Mérida. Todos ellos ponen sobre la mesa los beneficios

ambientales del arbolado urbano a nivel ciudad, pero no se considera de manera puntual la necesidad del acondicionamiento climático para los espacios públicos.

De igual manera, existen diversos trabajos de caracterización de la vegetación urbana, como lo son el *inventario de Arbolado urbano de la ciudad de Mérida* en el cual se cuantifican los beneficios ambientales del arbolado a la ciudad a través de indicadores como capacidad de absorción de dióxido de carbono, escorrentía pluvial y disipación de partículas contaminantes, entre otros.

Otro tipo de caracterizaciones del arbolado se han hecho desde el punto de vista botánico y estético para su uso en el diseño urbano-arquitectónico entre ellas: *Especies recomendables para la Ciudad de Mérida* del Dr. Roger Orellana, *Especies vegetales para uso en el medio urbano* de Juan Carlos Chab Medina y la *Etnoflora Yucatanense*, por el Dr. Salvador Flores Guido.

A partir de lo anterior se establece la relevancia y pertinencia de la investigación planteada, ya que en los estudios que se han realizado en cuestión de calidad ambiental del espacio público y vegetación urbana se ha analizado factores sociales y funcionales en cuanto a características físicas e intensidad de uso del espacio público en relación a la presencia o falta de vegetación, se ha tomado él cuenta valor estético, socio-económico y las aportaciones ambientales de la vegetación, pero no se han realizado estudios desde el enfoque bioclimático que vincule la vegetación y la climatología urbana y permitan establecer estrategias que mejoren las condiciones microclimáticas del espacio urbano.

## **1.2 Casos análogos**

Para la conformación de un marco metodológico que permita la obtención de la información para su posterior análisis y posterior comprobación o refutación de la hipótesis planteada se tomarán como referencia las siguientes investigaciones:

### **1.2.1 Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producidas por el arbolado urbano Barcelona**

En la tesis doctoral de 2016, se plantea la siguiente metodología: descripción de la estructura del arbolado, permitiendo su caracterización en función de la frondosidad con base en un método de cálculo y fotográfico que permite la clasificación de esta en cinco categorías. Las especies estudiadas se eligieron del listado de arbolado urbano del ayuntamiento de Barcelona y se acotó la selección a 9 especies en función de las de mayor uso.

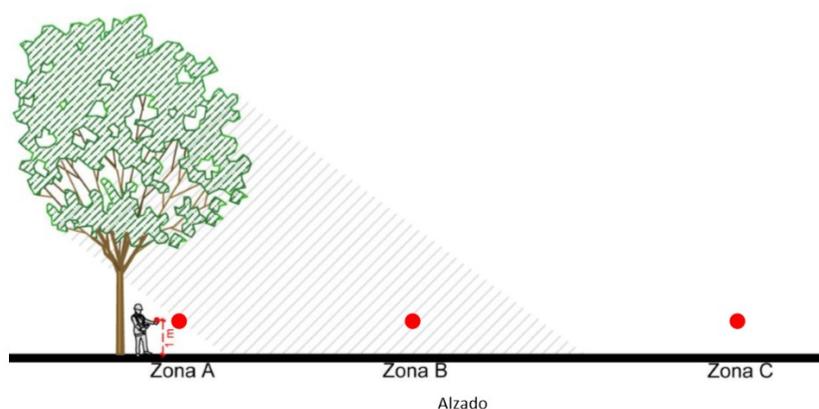


Figura 3. Puntos de medición planteados por Rojas.

Fuente: Rojas Cotorreal, 2016.

Para determinar de forma cuantitativa la mejora de las condiciones térmicas del espacio urbano por cada especie, se realizaron mediciones bajo el árbol, bajo proyección de sombra y a pleno sol. Las variables que se tomaron fueron medición de la temperatura radiante del pavimento y medición de las condiciones ambientales del entorno integradas por temperatura del aire, humedad relativa y velocidad y dirección del viento (Rojas, 2016).

Para la evaluación de los datos recolectados y conocer la aportación de cada especie arbórea en el ámbito urbano, se utiliza el modelo de evaluación del Balance Energético desarrollado por Ochoa de la Torre (1999).

El árbol puede influir simultáneamente en diversas variables: la radiación de onda larga, radiación de onda corta, en la evaporación, en la transpiración y otros factores. Para este caso de estudio se han considerado dos variables de ellas: factor geométrico y factor físico.

Factor geométrico del árbol: es la capacidad de obstrucción del árbol, ósea el factor de vista del árbol (Tree view factor (Tvf)).

Factor físico del árbol: es la frondosidad de la especie arbórea (capacidad del árbol de bloquear o filtrar la radiación solar).

Especie arbórea	Hora solar	t	Protección (Frondosidad)	Disminuye		B.E.	Interpretación de B. E.
				$\Delta R$	$\Delta Tr$		
		S. U.	%	W/m <sup>2</sup>	°C	W/m <sup>2</sup>	
Parkinsonia	7:00	0.70	30	307	2	32	Comfortable
Plátano de sombra		0.22	78	241	4	-49	Comfortable
Encina		0.16	84	251	1	-37	Comfortable
Parkinsonia	11:00	0.70	30	246	7	160	Caluroso
Plátano de sombra		0.22	78	513	8	-18	Comfortable
Encina		0.16	84	523	8	48	Comfortable
Parkinsonia	15:00	0.70	30	239	5	40	Comfortable
Plátano de sombra		0.22	78	83	5	9	Comfortable
Encina		0.16	84	59	2	4	Comfortable

Tabla 1. Análisis de especies arbóreas en verano de 2015, resumen.

Fuente: Cotorreal, 2015.

A partir de dicha caracterización, se evalúan dos escenarios urbanos distintos: una calle y una plaza, para evaluar el efecto de las especies arbóreas en el confort térmico en relación a la morfología urbana, y se realiza un comparativo de tales escenarios con y sin vegetación.

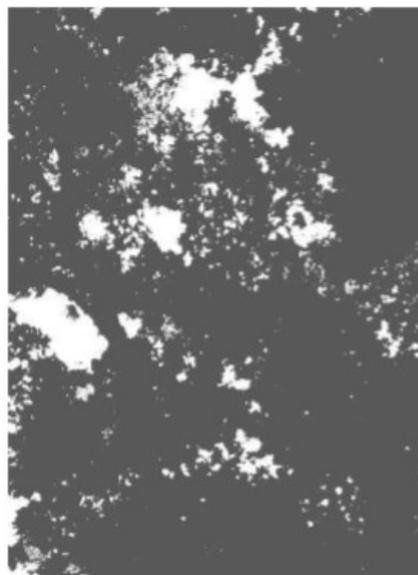
Por último, y en correspondencia con los alcances de una tesis doctoral, extrapola la metodología desarrollada al clima cálido húmedo de la ciudad de

Santo Domingo (República Dominicana). Para ello se realizaron mediciones in situ de varias especies arbóreas. Se constata la exportabilidad de la metodología, a diversas condiciones climáticas, tipología urbana y especies arbóreas.

Cabe mencionar que dicho trabajo, es resultado de la continuidad a lo planteado en la tesina de maestría *Vegetación tropical en el confort climático* (Rojas, 2013) urbano del mismo autor de la cual se derivan los artículos *La vegetación en el confort microclimático: comparación de especies del clima mediterráneo de Barcelona, España* (Rojas, 2015) y *El efecto del confort térmico producido por la especie arbórea almez en el espacio público* (Rojas, 2016).

### 1.2.2 Evaluación energético-ambiental del bosque urbano

Las aportaciones del arbolado urbano en la disminución de la radiación solar es un tema que ha cobrado relevancia en los últimos años, sin embargo, existen estudios anteriores como es el caso del trabajo de Cantón (1994) en el cual se analiza la permeabilidad del bosque urbano a la radiación solar. Para ello se hacen mediciones bajo la sombra del árbol con un piranómetro y se comparan con mediciones a cielo abierto, posteriormente desarrolla un método a través de imágenes fotográficas que se procesan por medio de software y mediante la cual se obtienen resultados muy parecidos.



a)

b)

Figura 4. Procesamiento de fotografías de fronda. a) Especie medida en condiciones aisladas (*Platanus acerifolia*). b) Imagen procesada, tomada desde una de las grillas localizadas en la sombra arrojada por la copa. Fuente: Cantón (1994).

### 1.2.3 Permeabilidad del arbolado a la radiación solar

En este trabajo de 2015, Arboit retoma la metodología de Cantón y analiza el comportamiento de dos especies, para lo cual se seleccionaron ocho ejemplares por especie. La selección incluyó un análisis de los diversos indicadores agronómicos, urbanos y edilicios. Los Indicadores Agronómicos tienen como criterio de selección: uniformidad de especies, tamaño de plantación, magnitud forestal, forma del árbol, ancho de copa (diámetros cruzados- altura de fuste y total), diámetro de tronco, ángulo de inserción de ramas. Además de la pendiente del terreno, las intervenciones por poda, el riego, fertilización y tratamientos fitosanitarios (Arboit,2015).

Otros indicadores son los Urbanos, los cuales se determinan en base a la forma y orientación de las manzanas, el ancho de canal vial, ancho vereda, ancho cantero (tipo), ubicación en vereda, acequias- corte y materialidad, abertura tipo para riego de arbolado, retiros edilicios de la línea municipal, posición relativa del ejemplar (distancia de ejemplares próximos).

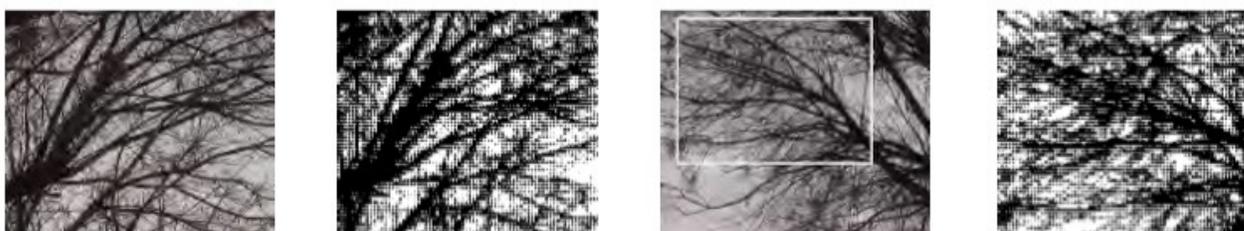
Por último, se consideran los indicadores edilicios: morfología edilicia, factor de forma, FOS, FOT, saliente s/vereda y perfil de la construcción.

La metodología para determinar la permeabilidad del arbolado a la radiación solar se basa en la toma de imágenes y el cómputo por software de imágenes fotográficas que permite cuantificar la radiación solar disponible en medios urbanos vegetados (Cantón 1993,1996, 2001).

El método se basa en la toma de imágenes de alto contraste entre la copa del árbol y el cielo, tomadas en ausencia de sol desde el plano de sombra arrojada por la copa y en un ángulo de altitud y azimut coincidentes con los del sol. El

programa de mediciones fue organizado en cuatro periodos que corresponden con las distintas estaciones de un ciclo anual.

La densidad de la copa de los árboles no es homogénea, por lo tanto, sobre cada uno de ellos se realizaron tomas fotográficas desde cuatro puntos equidistantes del tronco de modo de obtener un valor promedio de permeabilidad de las diferentes zonas de la copa del árbol (Figura 5).



a) Imagen a escala de grises, b) Imagen en blanco y negro, c) Selección del área de interés, d) Zona de la fotografía analizada

Figura 5. Análisis de la variación estacional de la densidad de copa. Fuente: Arboit (2015).

Las imágenes son procesadas por un programa de tratamiento de imágenes Photofinish; a los efectos de convertir las mismas a blanco y negro. (Fig. 5-a, 5-b). Se define posteriormente las áreas de interés para el estudio de permeabilidad (Figura 5-c y 5-d).

Mediante un programa de conteo de puntos blancos y negros desarrollado en UID (Cantón, 1993,1996, 2001), se procesaron las imágenes, obteniendo los valores medios de permeabilidad por especie. El programa reproduce en la pantalla la imagen gráfica e imprime el porcentaje de permeabilidad, la cantidad de líneas y píxeles/ línea y el nombre del archivo.

#### **1.2.4 Modelado del efecto microclimático de especies del arbolado urbano con variaciones en la morfología de las calles de la ciudad mediterránea de Tel Aviv, Israel**

En esta investigación (Sashua-Bar, 2015) se analiza las especies predominantes en arbolado urbano de la ciudad de Tel Aviv, con la finalidad de cuantificar los beneficios en el ambiente térmico que producen según las variaciones del dosel de cada especie.

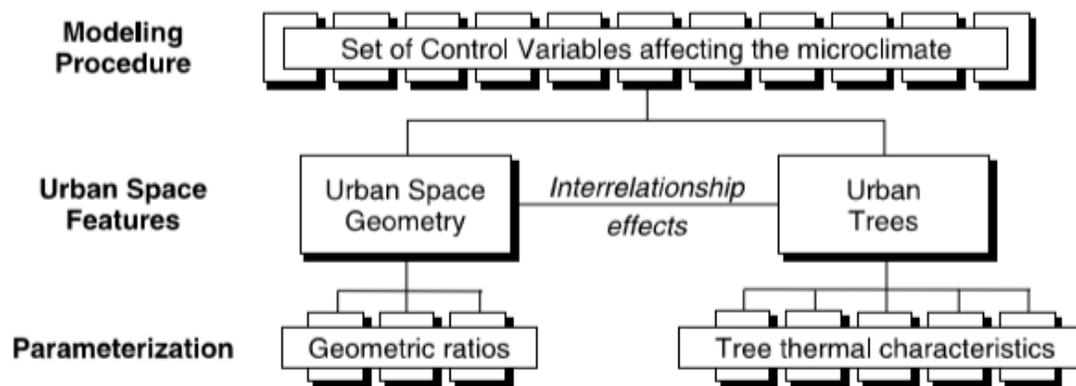


Figura 6. Procedimiento de modelado del microclima de espacios abiertos urbanos.

Fuente: Sashua-Bar (2015).

Para obtener la información de las variaciones térmicas de las diferentes especies se realizaron cuatro mediciones a lo largo del día, a las 6:00, 12:00, 15:00, 24:00. Los niveles y parámetros que se analizaron fueron en relación a puntos de soleamiento, cobertura del árbol, absorción de la radiación solar, transmisividad de la radiación solar y coeficiente de enfriamiento del árbol.

Site	Levels		Parameters			
	Sunny spots (%)	Tree coverage (%)	Canopy solar absorptivity	Canopy solar transmissivity	Canopy time <sup>(1)</sup> constant	Cooling coeff. of tree
Tagore Garden (Ficus retusa)	5–10	90	0.60	0.05	9.0	0.60
Reading Garden (Tipuana tipu)	15–20	50	0.60	0.12	7.9	0.50
Tel Aviv University (Date Palm)	30–40	50 <sup>(2)</sup>	0.70	0.15	7.6	0.70 <sup>(3)</sup>
Chen Boulevard (Ficus retusa)	5–10	70	0.60	0.04	8.0	0.40

<sup>(1)</sup> Thermal time constant for ground = 8 h, for walls = 6 h.

<sup>(2)</sup> The grass coverage level (under the Date Palm trees) was 0.80

<sup>(3)</sup> Cooling coefficient for Date Palm = 0.40, for grass = 0.30

Tabla 2. Niveles y parámetros de los 6 atributos estudiados de tres especies. Datos en verano, Área de Tel Aviv, Israel. Fuente: Sashai-Bar, 2015.

Este estudio incluye la parametrización de los elementos construidos del cañón urbano para posteriormente, por medio de software, simular el efecto de las especies estudiadas en distintos escenarios urbanos.

### 1.2.5 Efecto del sembrado urbano y especies arbóreas en el confort térmico en los trópicos

Otro de referente metodológico importante que cabe mencionar es el trabajo de Abreu-Harbich Brasil (2015) en el cual al igual que en los anteriores se analizan las aportaciones térmicas del arbolado urbano, para lo cual se seleccionan las especies más utilizadas en los planes de forestación gubernamentales y se toman en cuenta otras características como madurez, representatividad del fenotipo, accesibilidad topográfica y capacidad para colocar los instrumentos de medición bajo los especímenes.

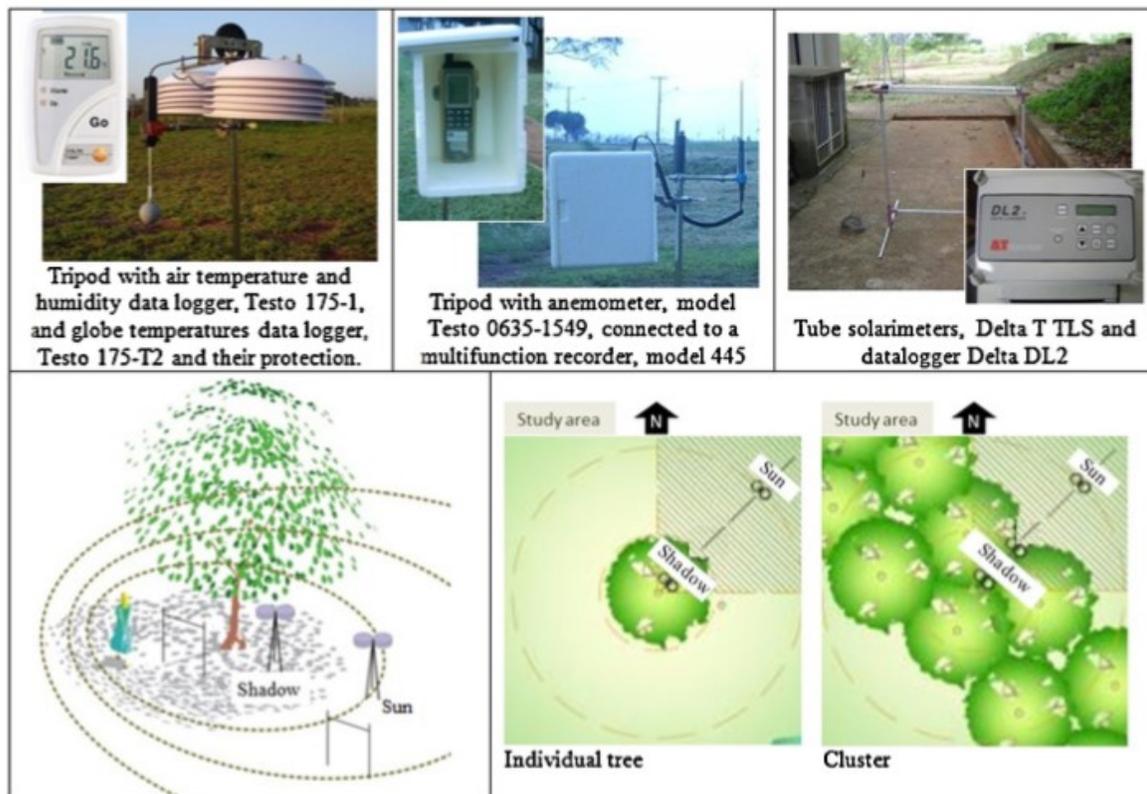


Figura 7. Individuos de árboles y agrupaciones estudiadas.

Fuente: Abreu-Harbich, 2015.

Se clasificaron los árboles según su estructura, forma de la fronda y permeabilidad y se realizaron mediciones tanto de grupos de árboles como de individuos.

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Para comprender el contexto de la investigación se definen a continuación los conceptos que la integran, los cuales se esquematizan a partir de dos categorías principales de las cuales se derivan conceptos secundarios, dichas categorías son: el espacio público y el confort climático.

### 2.1 El espacio público

Comenzaremos por definir el espacio público y su relevancia a nivel urbano arquitectónico, pero también social. Según Borja la historia de la ciudad es la de su espacio público, las relaciones entre los habitantes y entre el poder y la ciudadanía se materializan y se expresan en la conformación de las calles, las plazas, los parques, los lugares de encuentro ciudadano. El espacio público conforma un sistema de redes o de conjunto de elementos que permiten el paseo y el encuentro, que ordenan cada zona de la ciudad y le dan sentido, que son el ámbito físico de la expresión colectiva y de la diversidad social y cultural. Es decir, el espacio público es a un tiempo el espacio principal del urbanismo, de la cultura urbana y de la ciudadanía. Es un espacio físico, simbólico y político (Borja y Muxi, 2003).

A fin de profundizar en la naturaleza del espacio público, lo abordaremos desagregando las diversas dimensiones que lo determinan desde la perspectiva arquitectónica.

#### 2.1.1 Dimensión espacial

Respecto a la dimensión física del espacio público, entendemos que si bien puede haber una estrecha relación con las condiciones del espacio natural –como elemento que otorga identidad y al mismo tiempo delimita–, también puede ser más amplio e incorporar aquellos elementos que no permiten el pleno acceso al

espacio, como barreras físicas, simbólicas, psicológicas o normativas (Garriz, 2014). Cabría, además, añadir otra propiedad a la dimensión física del espacio público, la del carácter de abierto o cerrado a partir de la cual podemos definir mejor los tipos de espacios; entre los cerrados podemos mencionar: los mercados y edificios administrativos, y como espacios abiertos: la calle, la plaza y los parques.

### **2.1.2 Dimensión funcional**

Con relación a lo funcional, el espacio público se caracteriza por su polivalencia, es decir por la multiplicidad de usos que en él se manifiestan (Torre Vázquez, 2010). Estos usos los podemos clasificar en relación con dos componentes: los tipos de uso o actividades que se dan en el espacio público y los modos de uso o desplazamientos que involucran esas actividades.

Al respecto, Pérez Herrera define de las actividades del espacio público de siguiente manera:

En primer lugar, tenemos las actividades básicas o necesarias: Son todas aquellas que la gente se ve forzada a llevar a cabo en mayor o menor grado – caminar al trabajo, esperar el transporte, etc. -; estas actividades ocurren sin tomar en cuenta la calidad del ambiente físico, simplemente porque tienen que suceder. Y, por otro lado, las actividades complementarias o voluntarias: son aquellas que tiene opción de realizarse – pasear, disfrutar del paisaje, asolearse, etc.-. Al contrario de las necesarias, las actividades voluntarias son muy sensibles a la calidad de la ciudad y se llevan a cabo únicamente cuando la calidad del medio ambiente urbano lo permite (Pérez Herrera, 2011).

Otro punto refiere a los tipos de desplazamientos que se dan en el espacio público y están directamente relacionados con el tema de la movilidad urbana, la cual consiste en la capacidad del espacio público de permitir de forma eficiente; los diferentes tipos de desplazamiento origen-destino necesarios para el

funcionamiento de la ciudad, estos son: el vehicular, el peatonal y la bicicleta (INBA, 1980).

### **2.1.3 Dimensión social**

A nivel social, el espacio público juega un papel de vital importancia ya que es una herramienta del hombre para interactuar con su entorno y desarrollarse en él, es un elemento no sólo de tránsito, hábitat y trabajo, sino también de relación y de recreación (Echave Martínez, 2016). La calidad del espacio público se puede evaluar sobre todo por la calidad de las relaciones sociales que facilita, por su fuerza mezcladora de grupos y comportamientos y por su capacidad de estimular la identificación simbólica, la expresión y la integración culturales.

La calidad del espacio público se evidencia por la intensidad de las relaciones sociales que promueve, por su capacidad de estimular la identificación simbólica y la integración cultural, es conveniente por tanto que tenga condiciones tales como la continuidad en el espacio urbano (Torre, 2010). Por tanto, la identidad de las ciudades actuales se construye sobre una permanente relación de conflicto entre dos tipologías espaciales, los espacios de identidad y los espacios homologables. Ambos interactúan y se recombinan, delineando el nuevo paisaje urbano.

Son espacios de identidad: la calle, la plaza y los parques urbanos, los centros, los grandes ejes, etc. Todos aquellos que forman parte de la estructura básica de la ciudad, cuyos principios fundamentales son: la proximidad, la continuidad y los límites o contornos.

Por otro lado, los espacios de homologación son aquellos que tienen entre sus principales atributos, el carácter de clausura y aislamiento determinados por la necesidad de sus usuarios de sentirse contenidos por un espacio previsible y sin diferencias. Ejemplos de estas estructuras son las plazas comerciales, los parques temáticos, etc. mismos que catalogaremos más por su valor como espacio colectivo que por el de espacio público.

Habiendo identificado las dimensiones que componen el espacio público y las tipologías de éste, podemos establecer cómo se compone la estructura espacial de las ciudades, la cual se presenta en el siguiente esquema:

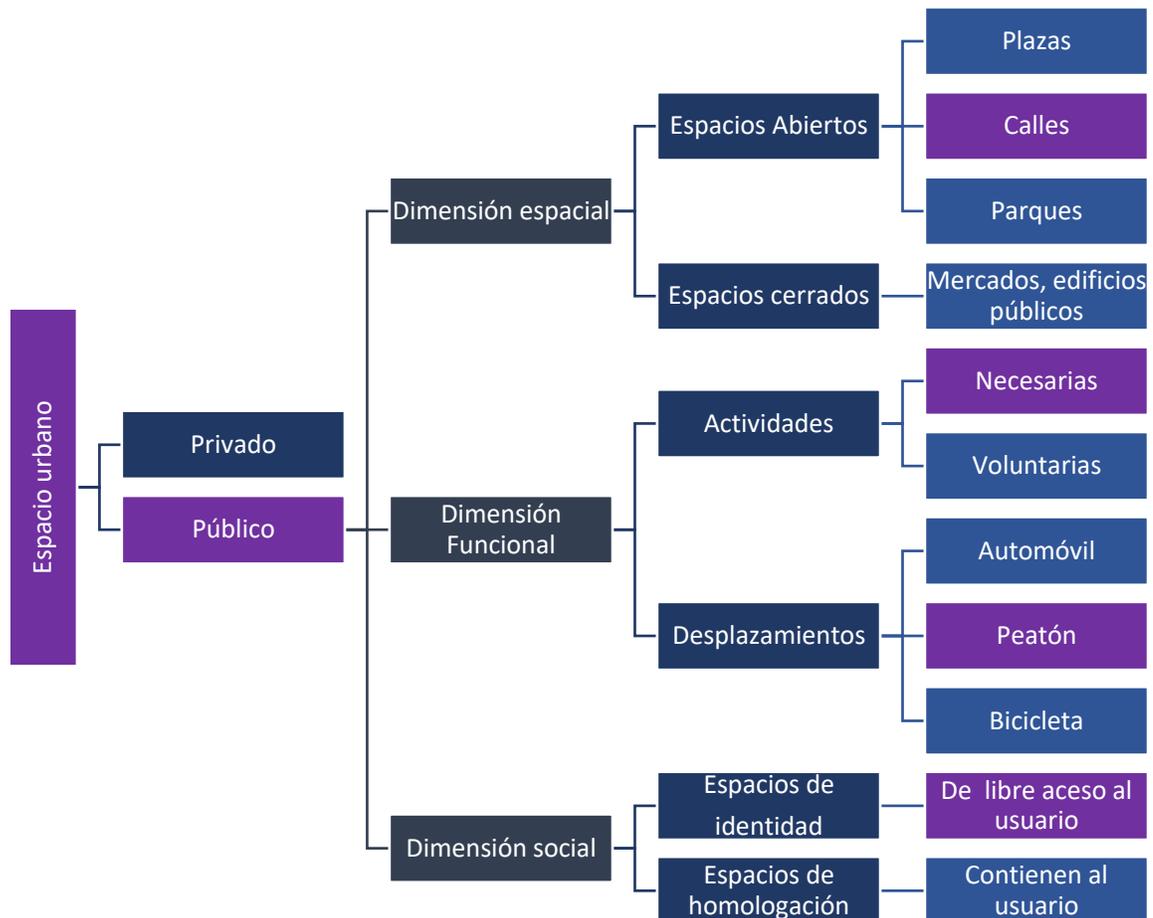


Figura 8. Conceptos derivados del espacio público urbano.

Fuente: elaboración propia.

### 2.1.4 La calle

Dentro de esta estructura, la calle se convierte en parte medular, ya que integra las principales prácticas y actividades sociales de los habitantes de la ciudad (Rojas, 2016), lo que la convierte en el elemento básico de organización de la misma; en ella se concentran todas las funciones sobre las que descansan las interrelaciones entre las personas, lo que constituye la esencia de lo urbano.

Hablamos de un espacio público con una característica fundamental que otros espacios públicos no tienen: la continuidad, que integra su papel de red, de soporte sistémico, que la convierte también en un elemento de articulación entre las piezas urbanas (Herce, 2009). La mayoría de los contactos sociales que se dan en las calles son ostensiblemente triviales, pero su suma no lo es en absoluto, ya que, en conjunto, la suma de tales interacciones da como resultado un sentimiento de identidad pública entre las personas.

Las calles hoy día son susceptibles de ser sustituidas por vías rápidas de comunicación vial o de caer en el extremo opuesto y proteccionista de transformarlas en paseos peatonales en los que se segrega la circulación mecánica, perdiendo así su condición de trayecto, de elemento de continuidad y de relación entre las piezas urbanas (Gehl, 2004).

Para hacer ciudad, conviene no aislar las calles, puede haber áreas y calles peatonales, pero teniendo cuidado de no contribuir a la marginalidad o al “museísmo” urbano, las calles tienen que ser accesibles también para los vehículos. Un adecuado tratamiento de las calles y vías urbanas supone tener criterios para distinguir y tratar de forma diferente calles ordinarias, pasajes, bulevares o avenidas, autovías urbanas o autopistas... Siempre, es necesario garantizar su uso polivalente tanto como espacio público y su accesibilidad como la articulación con la red viaria de la ciudad (Borja y Muxi, 2003).

En ese sentido, una de las principales estrategias de las ciudades actuales está orientada hacia la movilidad sostenible, la cual busca mejorar la calidad de vida urbana y el bienestar colectivo, creando espacios públicos confortables que favorezca la convivencia ciudadana y a la vez, promueven los desplazamientos peatonales, la bicicleta y el transporte colectivo.

Para lograr las condiciones que propicien la movilidad sostenible, hay que tomar en cuenta diversas variables que pueden influir en el uso del espacio

público, como lo son el diseño y la elección de materiales, la vegetación y también el calor generado por los automóviles (Echave, 2006).

Al respecto, la Escuela de Arquitectura de La Real Academia de Bellas Artes de Dinamarca, menciona entre las condiciones que debe tener el paisaje peatonal las siguientes:

- Protección contra inclemencias del clima.
- Protección contra experiencias molestas a los sentidos
- Posibilidades para caminar
- Posibilidades para detenerse

En relación con lo anterior, resulta de gran importancia para las ciudades actuales lograr las condiciones que permitan el uso confortable del espacio público; Jean Gehl (2004), señala que la calidad y cantidad del espacio público determinan la calidad urbana de una ciudad y que el uso del automóvil la deteriora, por lo cual es necesario hacer la calle confortable y atractiva para caminar, ya que en una ciudad sana los espacios públicos son por excelencia el lugar de encuentro.

Cabe mencionar, que la intensidad de uso del espacio público puede estar, sobre todo en ciudades con climas tropicales, relacionada con las condiciones climáticas del entorno, ya que las condiciones climatológicas de una ciudad inciden en la percepción de confort y por tanto en la forma de vida de sus habitantes y la manera en que usan el espacio público, por lo que el diseño de los espacios públicos debe responder a dichas condiciones a fin de facilitar la adaptación del hombre al medio ambiente exterior.

Esto se puede lograr a través del acondicionamiento térmico de los espacios públicos abiertos, sin embargo, para abordar el concepto de

acondicionamiento térmico es necesario establecer primero la definición de los conceptos, confort climático y clima urbano para comprender mejor la relación entre ellos y los elementos de la estructura urbana que modifican las condiciones naturales.

## **2.2 Confort climático**

El término confort climático a pesar de preciso puede resultar ambiguo en su interpretación, ya que diferentes autores lo definen de manera particular y esa amplitud de definiciones dificulta su precisión científica, para Víctor Olgyay, el confort es el conjunto de condiciones en que el hombre llega al punto en que adaptarse a su entorno le requiere el mínimo de energía (Auliciems y A. Szokolay, 1997) por su parte Ochoa de la Torre en su tesis doctoral en el año 1999, define confort como el balance del intercambio entre la energía del cuerpo humano y el ambiente que lo rodea. Tales definiciones tienen un punto en común, este consiste en que los autores citados coinciden en que el término confort hace referencia a una situación de bienestar y a que dicho bienestar es resultado de cierto equilibrio entre el hombre y su medio, entre sus condiciones fisiológicas, ambientales (Tornero, Pérez y Gómez, 2006) y psicológicas; que añade ASHRAE-55 (2004) es determinado además por la evaluación subjetiva del individuo.

### **2.2.1 Clima urbano**

El clima urbano, es aquel que se presenta en las ciudades y difiere de las condiciones climáticas que prevalecen en las áreas rurales circundantes. Estas diferencias son en parte debido a factores meteorológicos como nubosidad y velocidad del viento y por otro lado por la estructura de la ciudad, la densidad constructiva y las dimensiones de las calles. Givoni hace énfasis en el hecho de que el clima urbano puede ser modificado por la estructura de la ciudad y esto debe ser considerado en el diseño urbano.

Las principales diferencias entre el ambiente urbano y el “rural” que afectan el confort humano son la temperatura del aire y la velocidad del viento a nivel de la calle. Estas variables son modificadas por cambios en el balance radiante del

espacio urbano; el intercambio de calor por convección entre los materiales del suelo, las construcciones y el flujo de aire entre ello y por la generación de calor de los procesos urbanos.

Dichas afectaciones toman lugar a diferentes escalas, por ejemplo, en cuanto al aire urbano, una distinción muy útil de hacer es la del aire a nivel del dosel y la capa límite sobre el espacio de la ciudad (el domo de aire urbano), como sugiere Oke (1976). El espacio comprendido entre las construcciones urbanas hasta sus azoteas es conocido como dosel urbano, mientras que el domo de aire urbano es el volumen de aire que es afectado por la estructura urbana.

## **2.2.2 Modificadores del clima urbano**

### **La temperatura urbana: el fenómeno de isla de calor**

En cuanto a la temperatura diurna promedio, en un área con alta densidad constructiva, la temperatura diurna promedio es más alta que en la periferia de la ciudad (campo rural abierto). Las diferencias de temperatura pueden ser de 3 a 5°C de manera común, sin embargo, se pueden presentar diferencias de hasta 8 a 10°C. A pesar de que diversos autores señalan este proceso como un fenómeno nocturno, estudios como el de Canto Cetina R. (2008) muestran que de manera local este fenómeno también ocurre durante el día.

### **Efectos de la radiación solar y geometría en la temperatura urbana.**

El impacto de la radiación solar cerca de la superficie del suelo depende de la relación entre la altura de los paramentos y el ancho de la calle, comúnmente conocido como relación H/W. En un área plana la mayor parte de la radiación solar incidente es reflejada o emitida, la radiación absorbida es reflejada posteriormente hacia el cielo como radiación de onda larga; en una relación H/W (por sus siglas en inglés) media, mucha de esa radiación se refleja en otras construcciones o en el suelo y es eventualmente absorbida cerca de la superficie del suelo elevando la temperatura del aire, mientras que en un área con alta densidad constructiva y de relación H/W de 4 o más, gran parte de la absorción de la radiación toma lugar a

cierta altura sobre el nivel del suelo. Consecuentemente la radiación que llega al suelo y calienta el aire cercano a la superficie es menor que en el caso de la densidad media (Givoni, 1998).

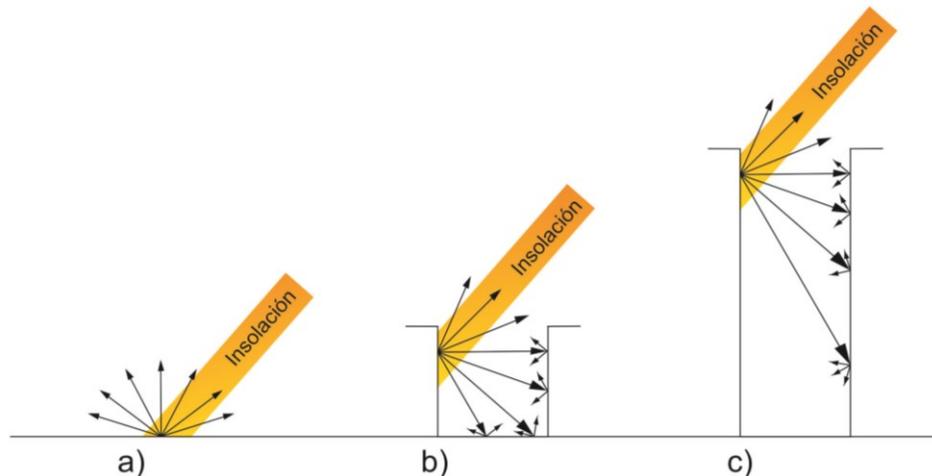


Figura 9. Distribución esquemática de la incidencia de radiación solar en a) Campo abierto, b) área construida con relación H/W de 1, y c) área con alta densidad construida y relación H/W de 4.

Fuente: Elaboración propia en base a Givoni.

### Radiación urbana y asoleamiento

Cualquier superficie en la tierra gana calor de la radiación solar (onda corta) y la pierde en forma de radiación de onda larga. La radiación solar incidente, cuando es absorbida por cualquier superficie seca durante el día es convertida en calor y eleva la temperatura de la superficie en cuestión. La energía solar absorbida por la vegetación, principalmente en sus hojas y superficies húmedas es parcialmente convertida en calor latente por el proceso de evaporación lo cual resulta en una elevación menor de temperatura.

La pérdida de calor hacia el cielo debido a la radiación de onda larga, es un proceso continuo, que toma lugar tanto durante el día como en la noche. Mientras que las ganancias de calor por radiación solar toman lugar, claramente solo durante el día.

Por último, cabe mencionar que la radiación solar incidente se divide en dos, la radiación que es absorbida hasta el punto de que es convertida en calor, ya sea sensible o latente y la radiación que es reflejada hacia el cielo, ésta última sin causar ningún efecto en la temperatura y humedad del ambiente.

En un campo abierto la absorción de radiación solar toma lugar sobre la superficie del suelo, pero en un área con construcciones; gran parte de esa absorción es a determinada distancia de la superficie del suelo, aunque como se mencionó anteriormente esto es en función de la estructura urbana y particularmente de la relación H/W.

### **2.2.3 Condiciones climáticas locales**

La Península de Yucatán es influenciada por altos niveles de radiación solar durante la mayor parte del año, generando altas temperaturas diurnas. De acuerdo con la clasificación Köppen modificada por García tiene dos tipos de clima, el Bs o semiárido de la costa norte y el Aw o cálido subhúmedo con lluvias en verano de la mayor parte del estado (Instituto de Geografía, 1973)

Mérida se encuentra ubicada a 20° 59' latitud Norte, 89° 39' de longitud Oeste y a una altura promedio de 11m sobre el nivel del mar (INEGI, 2010).

El tipo de clima según el sistema Köppen modificado por García es "Aw0"ig, cálido subhúmedo (el más seco de los subhúmedos) con lluvias en verano (por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo que en el mes más seco), tiene poca oscilación térmica (diferencia entre el mes más cálido y el mes más frío) entre 5 y 7°C, y marcha de temperatura tipo Ganges, significa que el mes más cálido o la máxima temperatura se presenta antes del Solsticio de Verano (antes de Junio para la Península de Yucatán). La temperatura media anual para este tipo de clima va de 22 a 26°C. La precipitación del mes más seco es menor de 60mm, y tiene un porcentaje regular a bajo de lluvia invernal entre 5 y 10.2 de la total anual (Durán y Méndez, 2010, y UADY, 1999).

### **Características de las regiones con clima cálido y húmedo**

Las regiones tropicales se distinguen desde el punto de vista del diseño urbano y arquitectónico por las siguientes características:

- El clima en verano es inconfortable y el más difícil de mejorar por diseño
- Gran parte de la población que vive en regiones cálido-húmedas es pobre
- Mucho menos investigaciones sistemáticas y con rigor científico se han realizado tomando en cuenta las características particulares de este tipo de región para el diseño urbano arquitectónico, en comparación con la investigación en otros climas.
- Algunas de las regiones cálido-húmedas son altamente susceptibles y vulnerables a sufrir fenómenos climatológicos como huracanes, tifones y tormentas tropicales (Givoni, 1998).

### 2.3 Confort térmico

Ahora que se ha definido el clima urbano y los aspectos de la estructura urbana que intervienen en él, definiremos el concepto de confort térmico el cual se comprende dentro de la definición de confort climático y lo entenderemos como el balance de intercambio térmico entre el cuerpo humano y su entorno físico, es uno de los factores más determinantes para la obtención del confort climático, en este proceso inciden el metabolismo y los siguientes flujos de calor externo:

- Radiación solar absorbida
- Intercambio radiante de onda larga
- Intercambio de calor por convección del aire
- Pérdidas por evaporación de la humedad de la piel
- Perdidas de calor por las vías respiratorias

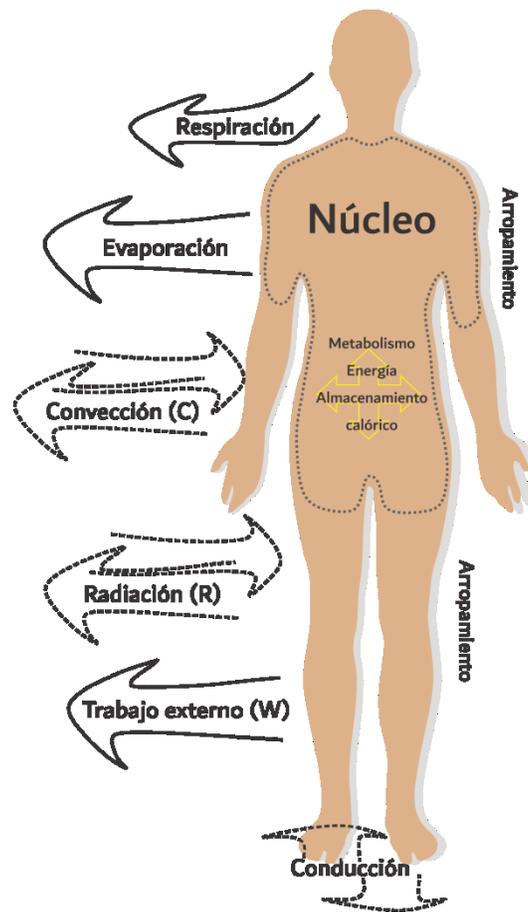


Figura 10. Procesos que inciden en la regulación del balance energético de un individuo.

Fuente: Elaboración propia en base a Fabbri K.

A partir de estas variables se desarrollan técnicas de acondicionamiento que buscan mejorar las condiciones climáticas exteriores, mediante el control y reducción de las ganancias de calor.

Dentro de estas técnicas destacan por sus beneficios aquellas que utilizan medios naturales de enfriamiento, y éstas se definen en relación con las características del clima local. Así, por ejemplo, un clima húmedo limita las posibilidades de aplicación de las técnicas naturales basadas en el enfriamiento evaporativo.

Por otra parte, las condiciones climáticas junto con la funcionalidad del espacio definen la intensidad del tratamiento, ya que es evidente que en climas suaves el acondicionamiento de los espacios abiertos puede no ser necesario, mientras que en climas más calurosos el tratamiento de estos espacios resulta imprescindible.

### 2.3.1 Acondicionamiento térmico urbano

Por tanto, el acondicionamiento térmico se define como el tratamiento que se le da a los espacios exteriores a través de técnicas que permitan ya sea evitar la acumulación de calor y/o propiciar el enfriamiento, con la finalidad de modificar el microclima del lugar y mejorar el confort climático y la habitabilidad de estos espacios, esto a través de intervenir y re direccionar los procesos que inciden en el balance energético buscando minimizar las ganancias de calor sobre el ocupante producidas por el medio urbano (Servando, 1992).

	Componente de balance	Cuantía		Control externo	Cambio de sentido
		W	%		
<b>Ganancias sobre el ocupante</b>	1. Generación neta	60	24	No	No
	2. Radiación total (directa+difusa+reflejada)	135	55	Sí	No
	3. Radiación de onda larga (superficies próximas)	35	14	Sí	Sí
	4. Convección	15	7	Sí	Sí
	<b>TOTAL DE GANANCIAS</b>	<b>245</b>	<b>100</b>	-	-
<b>Pérdidas del ocupante</b>	5. Radiación de onda larga (bóveda celeste)	25	11	Sí	-
	6. Sudoración (eficacia)	220	89	Sí	-
	<b>TOTAL DE PÉRDIDAS</b>	<b>245</b>	<b>100</b>	-	-

Tabla 3. Balance térmico de un individuo expuesto al exterior en un día caluroso.

Fuente: Álvarez Domínguez, Servando (1992).

Cabe recalcar que las ciudades con climas tropicales como el caso de Mérida, se caracterizan por presentar temperaturas relativamente altas durante la mayor parte del año con porcentajes de humedad también elevados, por lo que lograr el balance energético resulta un reto para los habitantes de dichas ciudades, aunado a esto, la densidad constructiva, la industria y el uso del transporte privado generan una carga térmica aún mayor, por lo que las condiciones microclimáticas dentro de la ciudad resultan incluso más desafiantes (fenómeno de isla de calor ICU antes descrito).

### **2.3.2 La vegetación en el acondicionamiento térmico**

Por tanto, tenemos que considerar que las técnicas de acondicionamiento térmico de espacios urbanos, deben estar dirigidas principalmente al control de la radiación total de onda corta y la radiación de onda larga. Puesto que son los dos componentes con mayor peso en el balance energético.

En este sentido, la vegetación se considera como el mejor elemento de control ambiental (Ng, 2010). Se ha demostrado que sus beneficios actúan más allá de la microescala, su impacto a nivel de la meso escala genera efectos positivos como lo son la reducción de islas de calor, reducción de costos de acondicionamiento de aire, mejoramiento de la calidad del aire y mejoramiento de la calidad psicológica de los espacios (Erell, Pearlmutter y Williamson, 2011).

Cabe destacar las estrategias desarrolladas por Baruch Givoni y otros investigadores, sobre acondicionamiento térmico en espacios abiertos; mismas que se implementaron en la exposición internacional de Sevilla (Álvarez, 1992), donde se plantean estrategias de reducción de las ganancias térmicas, así como técnicas específicas entre ellas, coberturas, tratamiento de superficies, encauzamiento de brisas, etc.

Criterios	Actuaciones Genéricas	Reducción de Ganancias (W)	Técnicas específicas	
Reducción de la radiación solar	Obstruir radiación directa y difusa	40 a 70	Coberturas	Vegetación
	Obstruir radiación reflejada		Tratamiento de superficies próximas	
Reducción o inversión intercambio radiante longitud de onda larga	Reducir temperatura de superficies circundantes	20 a 50	Pavimentos fríos Riego de coberturas	
Reducción o inversión de intercambio convectivo	Reducir temperatura del aire	15 a 50	Enfriamiento sensible Enfriamiento latente	
	Favorecer movimiento de aire enfriado		Encauzamiento de brisas	

Tabla 4. Estrategias de acondicionamiento de espacios abiertos.

Fuente: Álvarez Domínguez, Servando (1992).

En cuanto a los beneficios de la vegetación como técnica de protección contra la radiación solar, cabe destacar que, a diferencia de otro tipo de materiales como los textiles o los polímeros, la vegetación no transmite radiación y es la que más radiación absorbe.

Material	Radiación solar	
	Absorbida (%)	Transmitida (%)
Vegetal	80	-
Textil claro	10 – 20	25
Plástico	10 -15	13
Opaco	20 - 70	0

Tabla 5. Propiedades radiantes de los materiales de cobertura. Fuente: Álvarez Domínguez, Servando (1992).

Si bien resulta evidente que la vegetación mejora el clima urbano, las nuevas interrogantes sobre su estudio en el campo de la arquitectura bioclimática según Gómez Lopera (2005), están orientadas a obtener información directa y resultados propios del comportamiento, en una ciudad concreta, de la vegetación sobre la micrometeorología de esa ciudad, y de sus efectos sobre otros procesos humanos y naturales que se intercomunican (isla de calor urbano, percepción, equilibrio psicosomático).

### **2.3.3 Arbolado urbano y ambiente térmico**

Como ya se ha mencionado la presente investigación se centra en el estudio del efecto del arbolado urbano en el ambiente térmico en espacios urbanos, particularmente en la calle, esto en función de los trayectos peatonales que en ella se desarrollan; para ello definiremos el ambiente térmico como el efecto térmico del entorno inmediato al individuo producido por los intercambios de calor entre él y los factores físicos y urbanos que lo rodean, dicho ambiente térmico se describe de manera cuantitativa a través de las variables que definen el microclima.

Autores importantes como Givoni mencionan que, es conveniente tomar en cuenta la estructura urbana a un nivel tan mínimo como el del ambiente bajo un árbol, donde el impacto de la radiación solar es absorbido y donde pueden existir condiciones específicas de temperatura del aire y humedad diferentes a las del espacio urbano circundante (Olgay, 1998).

Si bien hemos hablado de los beneficios de la vegetación a nivel del clima urbano, son menos los estudios de su relevancia a nivel microclimático, al respecto, diversos estudios apuntan a que la selección de especies arbóreas puede mejorar los intercambios térmicos con el ambiente y mejorar la habitabilidad del espacio público; para ello, la frondosidad de cada especie es uno de los indicadores que permite caracterizar las aportaciones logran en la mitigación de

las aportaciones térmicas. Siendo la metodología de campo la que permite evaluar estas aportaciones (Rojas, 2016).

### **Radiación solar y arbolado urbano**

La radiación que cae sobre la vegetación es principalmente absorbida por las hojas, las cuales tienen un alto coeficiente de absorción a la radiación solar (cerca del 0.8). Sin embargo, en lugar de elevarse la temperatura de las hojas, la mayor parte de esta energía es “gastada” en el proceso de evapotranspiración de agua en las hojas. Lo que incrementa la humedad en lugar de incrementar la temperatura.

Cada especie posee características diferentes, por lo que su comportamiento y aportaciones al ambiente térmico son distintos, y por otra parte la hipótesis del presente trabajo, señala que estas aportaciones varían a lo largo del año en función de la densidad de la fronda; de aquí nace la necesidad de conocer las variables, indicadores, aportaciones de cada especie en relación al mejoramiento de las condiciones térmicas del espacio público.

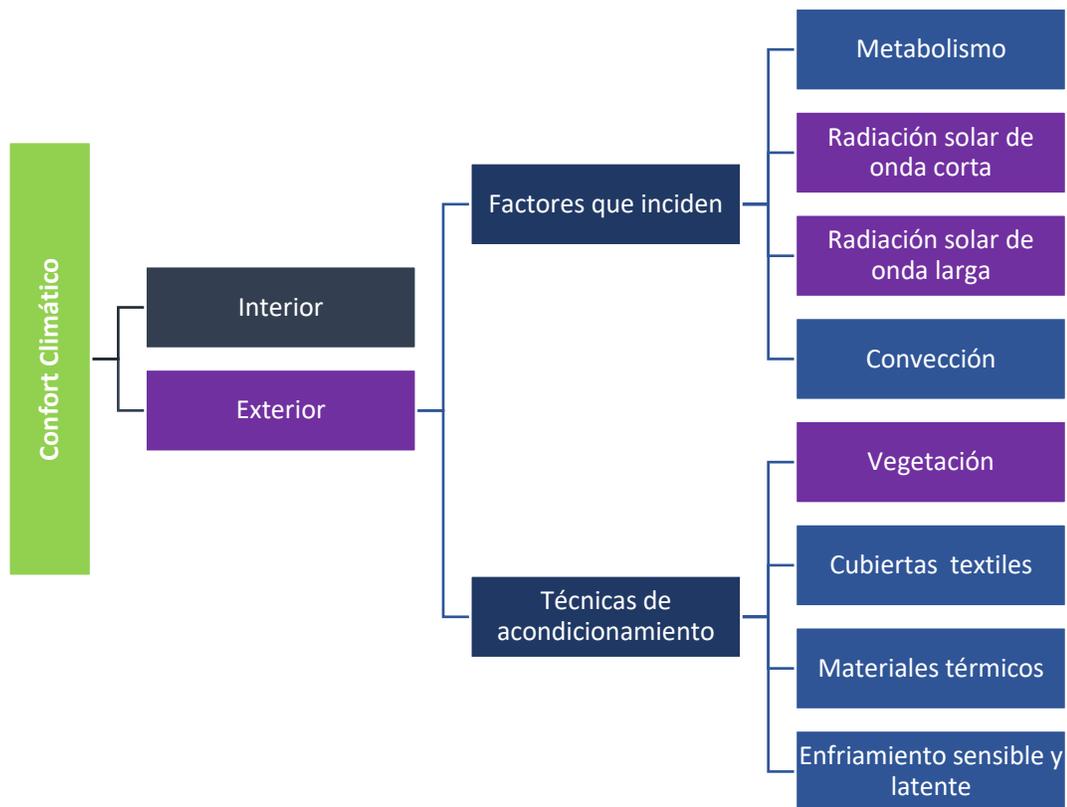


Figura 11. Conceptos derivados del confort climático exterior, se muestra las variables en las que incide la vegetación. Fuente: elaboración propia.

### 2.3.4 Arbolado urbano en el clima local

Ya que hemos planteado las condiciones del clima local, el efecto de la estructura urbana en el mismo (clima urbano) y el papel de la vegetación en el confort térmico, cabe recalcar el punto de partida de la investigación, que es el hecho de que en nuestra región las características del arbolado, principalmente la pérdida de follaje durante la época de mayores temperaturas y radiación solar (así como mayor verticalidad de los rayos solares) hacen de gran relevancia el estudio de la relación vegetación - transmitancia - estación, en las variaciones del ambiente térmico que se da debajo de los árboles como protección al usuario en los trayectos peatonales.

### **2.3.5 Normatividad y políticas públicas sobre las calles y el arbolado urbano de la ciudad de Mérida**

Al hablar del espacio público, la calle y la implementación de la vegetación como herramienta de acondicionamiento térmico, no podemos obviar las condiciones físicas de las vialidades, por lo que se presenta a continuación una breve caracterización del aspecto normativo que ha acompañado la creación de las vialidades con las que cuenta la ciudad en la actualidad.

#### **Ley de fraccionamientos de 1985**

##### **Avenidas**

Señala que las avenidas deben contar con aceras de 2.5 m no especifica espacio para vegetación.

Camellón de 2m de ancho, no especifica espacio para vegetación. El arroyo estará conformado por 2 Cuerpos con 1 arroyo para estacionamiento de 2m y 2 carriles de 3.25m cada uno. Con un ancho total de la vialidad 19 m total del arroyo vehicular más 5 m de aceras.

##### **Calle Primaria**

Conformada por aceras de 2.5 m se menciona 1.80 m para circulación y 0.70m para vegetación, aunque en realidad son .55 ya que no se considera la guarnición. El arroyo está conformado por 1 carril de estacionamiento a cada lado y 2 cuerpos de tránsito de 3.25m, un carril de adelantamiento de 3m dando un total de 13.5m total más 5m de banquetas.

##### **Calle secundaria**

Con aceras de 1.50 m de ancho menciona que se pueden ubicar pocetas más no las dimensiones máximas de las mismas para no obstruir el trayecto peatonal. El arroyo está conformado por 1 carril de estacionamiento de 2m a cada lado y 2 carriles de circulación de 3.25m con 10.50m totales de arroyo más 3m de banquetas.

### **Calle terciaria y cerrada**

En este tipo de vialidad las aceras son de 1.5m, el arroyo está conformado por 1 carril de estacionamiento de 2m a cada lado y un carril de circulación de 3.50, con 7.50 m totales de arroyo más 3m de aceras, no se menciona espacio para vegetación.

### **Andador**

Dos áreas verdes de 1.50 y circulación central de 3.50m, esta vialidad que resulta ser la única de uso exclusivo para el peatón es la única que cuenta con un área más generosa de vegetación, la cual podría lograr mejor protección solar para el usuario.

### **2004 – reglamento de construcciones**

En este reglamento se retoman los criterios de la ley de fraccionamientos de 1985. Sin embargo, en el caso del andador menciona 6.5 m totales pero no especifica área para vegetación.

### **2012 – reglamento de la ley de construcciones**

#### **Avenida**

Se señala que deberá contar con una acera de 3m donde 2m son de circulación libre y .85cm para jardín y servicios considerando .15m de guarnición, la otra acera será de 5.5m incluye las mismas especificaciones más 2.5m de ciclo vía. El camellón de 3m y el arroyo conformado por 2 cuerpos con un carril de estacionamiento de 2.50 y dos carriles de circulación de 3.50 cada uno. Con un ancho total de 22m más 8.5 de aceras y ciclovía.

#### **Calle primaria**

Las aceras de esta vialidad son de 3m donde 2m son de circulación libre y 85cm para jardín y servicios considerando .15m de guarnición. El arroyo está conformado por un carril de separación de 1m y dos cuerpos de 2 carriles de

circulación de 3.50m y uno de estacionamiento de 2.50m, con un ancho total de 20m más 6m de aceras.

### **Secundaria.**

Cuenta con aceras de 2.5m donde 1.50m son de circulación peatonal y .85m para jardín y servicios y .15m de guarnición. El arroyo conformado por 2 carriles de circulación de 3.5 y dos de estacionamiento de 2.50. Con un ancho total de 9.5m más 5m de aceras.

### **Terciaria y cerrada**

Aceras de 2m a cada lado donde 1.35m son de circulación peatonal .5m para jardín y servicios y .15m de guarnición. El arroyo está conformado por un carril de circulación de 3.5m y dos carriles de estacionamiento de 2.5m, dando un ancho total de 8.5m más 4m de aceras.

### **Andador.**

Al igual que en los otros tipos de vialidades en este reglamento, presenta un área de circulación más generosa para el peatón, se proponen andadores con dos espacios para vegetación de 1.5m y circulación de 5m.

### **2018 – reglamento de construcciones**

Este reglamento en su Artículo 109 retoma la Ley de Fraccionamientos del Estado de Yucatán donde las dimensiones propuestas para las vialidades vuelven a ser las mismas anteriores al año 2012.

<b>1985 - Ley de fraccionamientos/ Reg. construcciones 2004</b>				
<b>Vialidad</b>	<b>Acera (m)</b>	<b>Arroyo (m)</b>	<b>Camellón (m)</b>	<b>Vegetación</b>
Avenida	2.5	2 de 8.50m	2	No especifica
Primaria	2.5	13.5	x	70cm
Secundaria	1.5	10.5	x	No especifica
Terciaria	1.5	7.5	x	No especifica

<b>2012 - Reglamento de construcciones</b>				
<b>Vialidad</b>	<b>Acera (m)</b>	<b>Arroyo (m)</b>	<b>Camellón (m)</b>	<b>Vegetación</b>
Avenida	3	2 de 9.50m	3	85cm 15cm guarnición, indica 2.50m de ciclovía en una de las aceras
Primaria	3	2 de 9.50m	1	85cm 15cm guarnición
Secundaria	2.5	9.50m	x	85cm 15cm guarnición
Terciaria	2.5	8.5	x	50cm

<b>2018 - Reglamento de construcciones</b>				
<b>Vialidad</b>	<b>Acera (m)</b>	<b>Arroyo (m)</b>	<b>Camellón (m)</b>	<b>Vegetación</b>
Avenida	2.5	2 de 8.50m	2	No especifica
Primaria	2.5	13.5	x	70cm
Secundaria	1.5	10.5	x	No especifica
Terciaria	1.5	7.5	x	No especifica

Tabla 6. Comparativo de las dimensiones de las vialidades en los diferentes reglamentos de 1985 a 2019. Fuente: Elaboración propia.

Se puede interpretar que la prioridad en la legislación ha sido el vehículo y no el peatón y que prácticamente no ha cambiado el criterio del diseño de las vialidades en más de 30 años, e incluso hubo un retroceso en las dimensiones ganadas por el peatón y el ciclista en el reglamento del año 2012, en relación con la actualización del año 2018. Además, en cuanto al tema de vegetación cuando

se menciona jardinería no necesariamente implica arbolado urbano, aunado a esto la superficie destinada a área verde en las vialidades no es exclusiva para jardinería, ya que se menciona que alberga también otros servicios como iluminación, botes de basura, etc. y no se menciona recomendación alguna de distancias máximas de arbolado urbano.

### **2005 – Ley de protección al ambiente**

El capítulo II de la ley de protección al ambiente, sobre “la protección de los árboles”, señala algunas indicaciones sobre criterios de poda, tala, remoción, se mencionan algunas especies recomendadas para vialidades en función del espacio disponible, se mencionan anchos y profundidades de aceras:

En aceras menores a 3m de ancho los árboles deberán no ser menores a 1.5 m de altura (fuste) y no mayores a 4m, la poceta deberá ser de 40 a 75cm de diámetro y 50 a 75cm de profundidad.

En camellones y banquetas mayores a 3m la poceta deberá ser de 50-75 de diámetro y de 75 a 100cm de profundidad. Se mencionan especies recomendadas para camellones mayores de 8m para los cuales la poceta recomendada es de 75 a 100cm de diámetro y de 100 a 150cm de profundidad.

### **Plan maestro para la movilidad urbana sustentable 2015-2018**

Dicho documento consiste en un diagnóstico de las limitaciones de movilidad urbana para la ciudad de Mérida, en él se menciona:

*...no existe formalmente normatividad alguna que regule de forma integral la movilidad urbana y los ámbitos que la integran; que establezca derechos y obligaciones de todos los modos de transporte, motorizado o no, en la ciudad. En segundo lugar, el marco jurídico y normativo actual tiene como objeto de regulación la vialidad y el transporte en términos técnicos, sin ocuparse de las personas. En tercer lugar, la normativa existente presenta dificultades para ser aplicada por parte de las instituciones encargadas de su vigilancia y cumplimiento.*

A partir de tal diagnóstico se plantean 4 ejes de acción estratégicos los cuales consisten en:

1. Comunicación y difusión. Cuyo objetivo es generar conciencia en la sociedad sobre la importancia y beneficios de la movilidad sostenible.
2. Estudios técnicos y estrategias. Busca la colaboración de expertos en el tema de movilidad y el desarrollo de estrategias para el mejoramiento de la misma.
3. Gestión y proyectos. Su objetivo es incidir en la construcción y gestión de proyectos relacionados con el espacio público y garantizar que se consideren los aspectos que permitan la movilidad sostenible.
4. Marco legal. Se busca la consolidación de un marco jurídico y normativo que garantice la creación de espacios públicos que respondan a las necesidades sociales y a la movilidad sostenible.

Es sólo en estos últimos dos ejes donde se menciona la creación de nuevas configuraciones en calles y espacios públicos para mejorar la experiencia de la movilidad urbana, así como a la modificación de criterios constructivos de banquetas, rampas y vialidades. Sin embargo, no se hace mención de la necesidad imperante de mejorar las condiciones térmicas del usuario en sus desplazamientos peatonales.

### **Plan municipal de infraestructura verde 2015-2018**

Este plan busca consolidarse como un instrumento innovador de gestión de la infraestructura verde que promueva la movilidad urbana y la sustentabilidad, en él se mencionan la importancia de las áreas verdes en la provisión de sombra, oxígeno, purificación del aire, entre otros servicios. Su principal objetivo es el promover el establecimiento y cuidado de árboles como individuos importantes que contribuyen a mejorar la calidad de vida en el Municipio de Mérida y a través de ello mejorar la capacidad de tal infraestructura para facilitar bienes y servicios ecosistémicos dentro de la ciudad

Si bien es claro en la presentación de estrategias y acciones para arborizar, así como en la identificación de zonas de oportunidad para reforestación, todo ello se plantea desde una perspectiva urbana macro, es decir se busca mejorar la superficie de bosque urbano, pero no hay acciones puntuales en cuanto a criterios para arborizar vialidades nuevas y/o existentes que lo vinculen directamente con la movilidad sostenible.

### Guía para la Plantación de Árboles en el Municipio de Mérida 2015-2018

Documento de divulgación sobre la plantación de árboles para el municipio de Mérida, si bien da un vistazo de algunos criterios a considerar para la plantación de árboles como el crecimiento, tamaño de la poceta y selección de especies (menciona preferir el uso de especies nativas), está enfocado en la arborización de espacios como parques, lotes públicos y/o privados. Por lo que no hay información sobre la plantación de árboles en aceras.

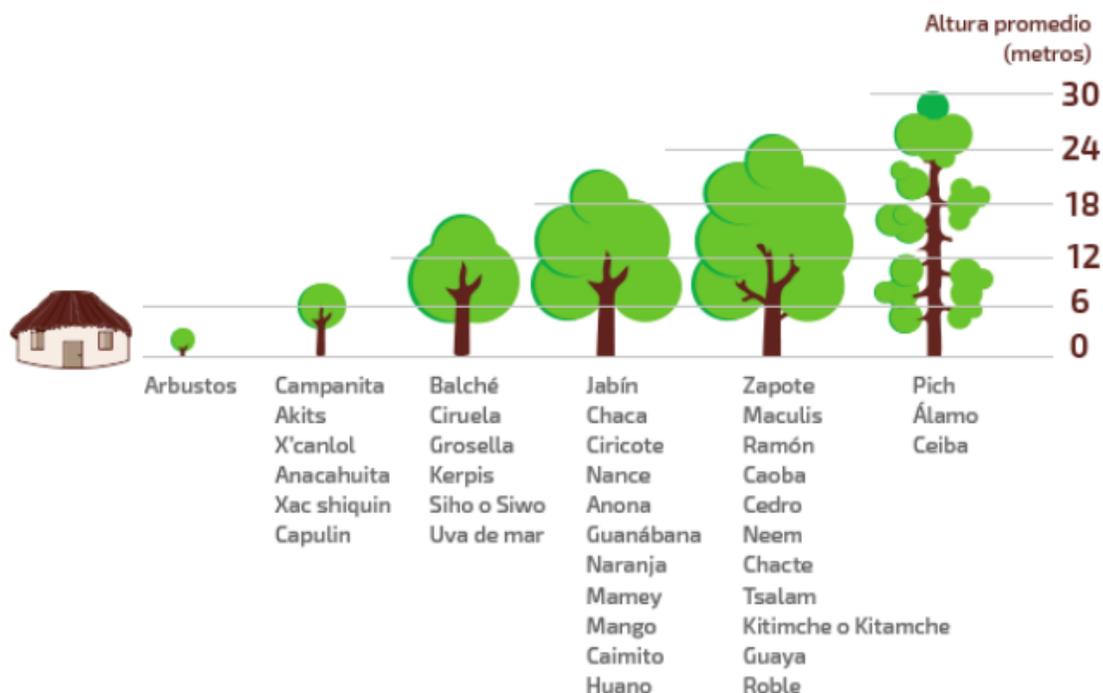


Figura 12. Tamaño de algunas de las especies más comunes en el municipio de Mérida, por su nombre común. Fuente: Ayuntamiento de Mérida 2015-2018.

## Sistema de espacios públicos UADY, COMEY 2016

Este documento si bien no tiene carácter jurídico, cabe mencionarlo ya que realiza un diagnóstico social, urbano y normativo y plantea estrategias para la consolidación de un Sistema de Espacios Públicos que articule, según propone, efectiva y armónicamente los espacios públicos y áreas verdes de la ciudad con los demás componentes de la estructura urbana.

En él se plantea que es indispensable actuar sobre los marcos normativos vigentes, para incorporar conceptos relacionados con la movilidad urbana y mejorar la calidad de los espacios públicos, para, de esta manera trascender las consideraciones cuantitativas que hoy en día determina la dotación de equipamientos y servicios relacionados con necesidades fundamentales de la población.

*Articular la actuación del Estado, en sus tres niveles de gobierno, incorporar a los demás actores involucrados desde diferentes ámbitos de actuación en procesos estratégicos de toma de decisiones, y diseñar marcos normativos que faciliten estos procesos resulta necesario para la consecución de los objetivos en dicho documento.*

También se hace mención sobre: “1. La desconexión existente entre espacios públicos para el ocio —destinos— y los canales de movilidad que los relacionan con los demás usos urbanos —conectores—; desconexión ocasionada a su vez por el modelo de ciudad dispersa y expansiva que guía el crecimiento de la Mérida metropolitana, y que determina la localización y distribución de dichos espacios en el territorio. 2. la diferenciación existente entre cualidades y calidades con que disponen tanto los espacios públicos para el ocio como las calles que posibilitan su accesibilidad.”

Cabe destacar que se hace una amplia revisión de los instrumentos normativos vigentes a la fecha de elaboración del documento.

Leyes y reglamentos estatales	Reglamentos municipales
Ley de Fraccionamiento del Estado de Yucatán (1985)	
Ley de Desarrollos Inmobiliarios del Estado de Yucatán (2010)	
Reglamento de la Ley de Desarrollos Inmobiliarios del Estado de Yucatán (2012)	
Ley para la Integración de Personas con Discapacidad del Estado de Yucatán (1996)	Reglamento para el Reconocimiento de los Derechos de las Personas con Discapacidad del Municipio de Mérida (2009)
	Reglamento de Protección al Ambiente y del Equilibrio Ecológico del Municipio de Mérida (2009)
	Reglamento para la Protección y Conservación del Arbolado Urbano del Municipio de Mérida (2016)

Tabla 7. Estructura normativa relativa a los espacios públicos.

Fuente: COMEY-UADY, 2016.

De igual manera se analiza la normativa relacionada con la protección del arbolado urbano destacan, el **Reglamento de Protección al Ambiente y del Equilibrio Ecológico (2009)** y el **Reglamento para la Protección y Conservación de Arbolado Urbano (2016)**, ambos del Municipio de Mérida.

En el primero se precisa en el Artículo 111 que los árboles y arbustos que sean plantados en banquetas, camellones y vía pública en general, deben permitir el libre tránsito para peatones y no interferir con cables aéreos. El tipo de árboles que se pueden sembrar están clasificados con respecto al tamaño de las banquetas y camellones, es decir, se señalan los adecuados para espacios

menores de 3 metros; mayores a 3 metros; y para camellones mayores a 8 metros, parques, jardines y áreas verdes extensas del Municipio de Mérida.

No se precisan cuáles son las especies apropiadas ni las inapropiadas, mientras que tanto en el Reglamento de la Ley de Desarrollos Inmobiliarios del Estado de Yucatán (2012) como en el Reglamento de protección al ambiente y del equilibrio ecológico del municipio de Mérida (2009), esto queda clarificado. Con respecto al índice de áreas verdes públicas, se hace referencia a la dotación de áreas verdes arboladas que establece la Organización Mundial de la Salud (OMS), como un mínimo de nueve metros cuadrados per cápita y que tiene como objetivo mejorar las condiciones ambientales y la calidad de vida de los habitantes.

Sin embargo, no existe en el documento apartado alguno que profundice al respecto, asunto de importancia si se considera que la única regulación para determinar la dotación de áreas verdes es el Reglamento de la Ley de Desarrollos Inmobiliarios del Estado de Yucatán (2012), en el cual se determina un 10% del área bruta para donación, de la cual el 7% es para equipamiento y el 3% es para área verde. Este porcentaje en ninguna normatividad ha sido analizado desde la perspectiva de la OMS, es decir, sí con el porcentaje mínimo se cumple con nueve metros cuadrados de área verde por habitante en cada uno de los desarrollos inmobiliarios que se están autorizando desde el año 2010.

El Sistema de Espacios Públicos propuesto por las instituciones COMEY-UADY resulta interesante ya que integra un diagnóstico amplio e interdisciplinar, así como el análisis normativo del cual se concluye claramente una desarticulación entre los diferentes instrumentos normativos, la cual resulta imperante atender si se busca alcanzar los objetivos recomendados por este documento.

Otro punto relevante del documento es la identificación de 7 indicadores de calidad del espacio público, donde se toma en cuenta el confort como uno de ellos y hace mención de la necesidad de una arborización estratégica.



Figura 13. Cualidades del espacio público exitoso.

Fuente: COMEY-FAUADY, 2016.

De la revisión normativa se puede concluir que si bien hay avances en el ámbito del espacio público y el arbolado urbano, estos temas se han abordado de manera general sin llegar a la especificidad del mejoramiento de las condiciones que mejoren los desplazamientos peatonales, y aún es necesario alinear las políticas en este sentido así como ampliar la investigación para el desarrollo de estrategias aplicables a proyectos urbanos concretos.

### 2.3.6 Revisión de índices de confort térmico

Como su nombre define, un índice de confort es una escala que permite evaluar las condiciones en que un ambiente dado presenta condiciones satisfactorias para los usuarios del espacio. Se basa en ciertas variables del ambiente y del metabolismo del ser humano y nos permite trasladar tales datos cuantitativos a su representación cualitativa, es decir, la percepción de confort de

determinada población. A continuación, se presenta una breve revisión del origen y evolución de los índices de confort así los más aceptados y utilizados para la evaluación de ambientes exteriores a fin de seleccionar el más adecuado para la presente investigación.

### Primeros índices de confort

El estudio de los índices de confort se remonta hasta principios de los 1900s, estos estudios eran realizados por ingenieros en calefacción y ventilación, la mayoría de estos estudios se realizaban con muestras pequeñas y se combinaba el análisis de condiciones medibles con entrevistas a los sujetos donde se les pedía calificar la sensación térmica como caliente, ligeramente caliente, confortable, no confortable, frío. Con estos estudios se buscaba identificar la temperatura media de neutralidad que sirviera como base para el diseño de sistemas de acondicionamiento artificial y calentadores.

A partir de dichos estudios se desarrolla la fórmula de balance energético, un modelo matemático que toma en cuenta los intercambios energéticos entre el cuerpo y su entorno, a fin de encontrar el punto en que estos se encuentran en equilibrio. Mediante el desarrollo de estos modelos y su retroalimentación con estudios de campo, los investigadores han intentado encontrar condiciones que las personas encuentren confortables o por lo menos, aceptables.

Fórmula de balance energético

$$M = \pm CV \pm R + EV$$

Donde

**CV** Intercambios por convección.

**R** Intercambios por radiación

**EV** Pérdidas por evapotranspiración

A la fecha se han desarrollado e implementado más de 100 índices de confort, que buscan aproximarse de una mejor manera a la evaluación térmica de los espacios exteriores. Y aunque originalmente estos modelos fueron diseñados para predecir la aceptabilidad en ambientes interiores, con algunas modificaciones pueden ser adecuados al estudio de espacios exteriores.

Los índices de confort se pueden dividir en tres grupos (De acuerdo con Parson 2003, Niosh 1986):

**1. Índices racionales:** basados en la ecuación de balance energético

Se basan en condiciones térmicas que se comparan con condiciones en una habitación estandarizada con una temperatura media radiante ( $t_r$ ) igual a la temperatura del aire ( $T_a$ ) y una humedad relativa constante del 50% ( $H_r$ ).

Año	Autor	Index	Nombre largo	Nombre en inglés
1923	Houghten	ET	Temperatura efectiva	Effective temperature
1932	Vernon y Warner	CET	Temperatura efectiva corregida	Corrected effective temperature
1945	Siple and Passel	WCI	Índice de enfriamiento del viento	Wind cold index
1957	Yaglou y Minard	WBGT	Temperatura de globo de bulbo humedo	Wet bulb globe temperature

Tabla 8. Índices de confort racionales.  
Fuente: Elaboración propia con base en Parson 2003, Niosh 1986.

**2. Índices empíricos:** basados en mediciones objetivas y subjetivas

Estos están basados en mediciones objetivas y subjetivas. Durante las décadas de 1960 y 1970, muchos investigadores, continúan en la búsqueda de establecer un indicador de confort térmico que de manera universal pudiera ser determinado y aplicado mediante la experimentación científica. Estas investigaciones se proponían demostrar que la sensación térmica responde al ambiente y a su relación con ciertos mecánicos fisiológicos medibles.

Toman en cuenta las variables físicas:

**T<sub>a</sub>** Temperatura del aire (°C)

**Va** Velocidad del aire (m/s)

**Hr** Humedad relativa (%)

**Tmr** Temperatura media radiante. (°C).

Variables personales:

Nivel de arropamiento (**clo**)

Nivel de actividad (**met**)

Año	Autor	Index	Nombre largo	Nombre en inglés
1966	Baruch Givoni	ITS	Indice de estrés térmico	Thermal stress index
1971	Gagge	ET	Temperatura Efectiva	Effective temperature
1972	Fanger	PMV	Voto Medio Previsto	Predicted mean vote
1976	McIntyre	ST	temperatura subjetiva	Subjective temperature
1979	Masterton y Richardson	Humidex	Indice de humedad	Humid index
1981	Vogt	Swreq	Sudoración requerida	Sweat required index

Tabla 9. Índices de confort empíricos. Fuente: Elaboración propia con base en Parson 2003, Niosh 1986.

Durante las décadas de 1960 y 1970, muchos investigadores continúan en la búsqueda de establecer un indicador de confort térmico que de manera universal pudiera ser determinado y aplicado mediante la experimentación científica. Durante este periodo los investigadores refinaron y ampliaron los experimentos en laboratorio y se aplicaron a un mayor número de sujetos. Estas investigaciones se proponían demostrar que la sensación térmica responde al ambiente y a su relación con ciertos mecánicos fisiológicos medibles, y se excluía otras influencias como las variables sociales. Un gran número de índices de confort fueron desarrollados bajo estas premisas: The New Effective Temperature Scale, The Standard Effective Temperature, Out SET, etc. El trabajo de Fanger y su ecuación para el voto medio previsto (PMV) y el porcentaje previsto de insatisfacción (PPD).

Destaca en este periodo el trabajo de Victor Olgyay, la gráfica sicrométrica de la cual tiene dos parámetros base para definir la zona de confort, la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa. La gráfica muestra como el rango de confort se puede ampliar tomando en cuenta los efectos de diferentes opciones de diseño y su incidencia en la temperatura media radiante, el movimiento del aire y el enfriamiento evaporativo. Cabe mencionar a Baruch Givoni con su índice de estrés térmico ITS; ambos con un enfoque bioclimático.

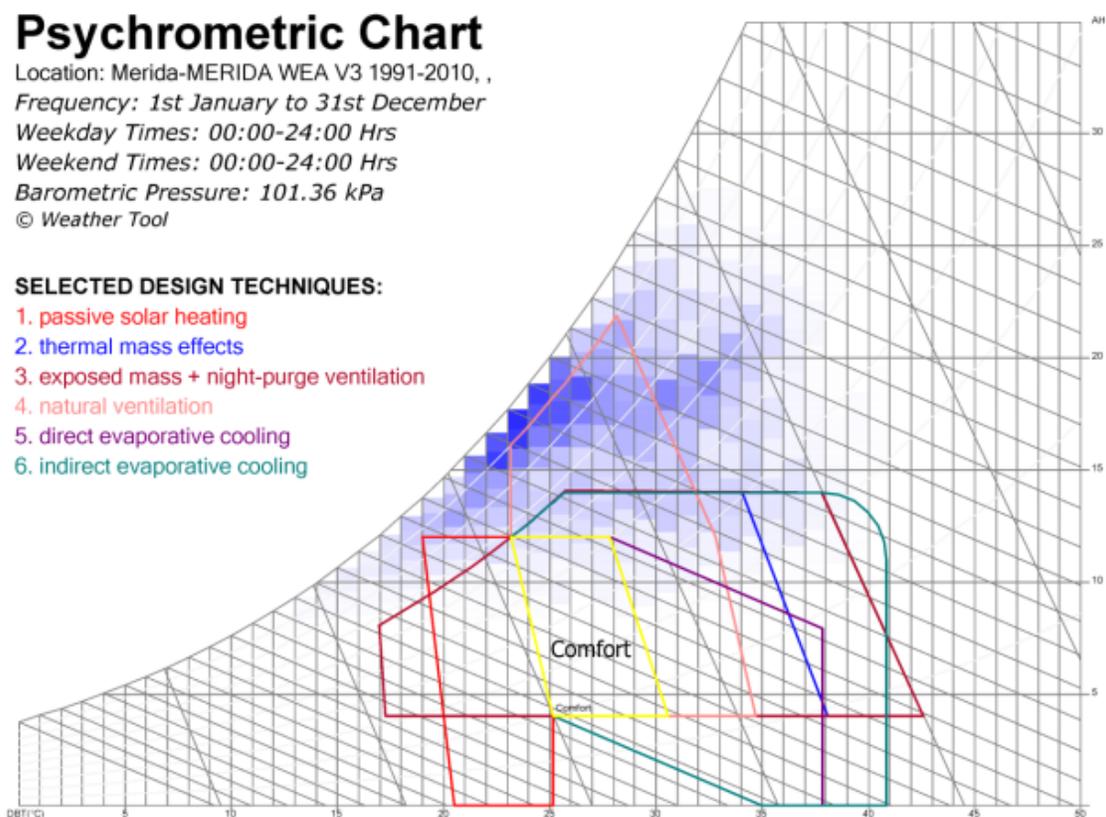


Figura 14. Diagrama psicrométrico mostrando las seis principales técnicas de diseño pasivo para la condición climática de la ciudad de Mérida, Yucatán. Fuente: Díaz Salazar, 2017.

### 3. Índices de modelo adaptativo

La mayor crítica que reciben los modelos de predicción del confort térmico es que se basan mayormente en estudios de laboratorios, mientras que los estudios de campo muestran de manera más consistente como las personas

adaptan sus entornos y aceptan condiciones que parecían salirse de lo establecido en el rango de confort.

Investigadores sugieren que, en la práctica, las personas encuentran el confort en una amplia gama de ambientes a medida que responden a situaciones complejas de la vida cotidiana. Esto no significa que, dada la oportunidad, no prefieran condiciones más favorables acordes a lo predicho en los estudios de laboratorio, lo que se sugiere es en un entorno complejo de la vida real, los patrones de comportamiento se modifican de manera que la percepción de confort varía según las temperaturas a las que los sujetos estén expuestos, a esto se le conoce como enfoque adaptativo.

Asumiendo que el modelo adaptativo toma en cuenta variables como la vestimenta, postura y niveles de actividad, este permite un rango más amplio de temperaturas que pueden ser consideradas como compatibles con el confort.

### Índices de confort regionales Vs Índices de confort universales

Derivado de lo anterior, la discusión en años recientes está orientada hacia si se debe desarrollar índices de confort para las diferentes condiciones climáticas tomando en cuenta las condiciones de adaptabilidad fisiológica y cultural de cada región o si se debe establecer un índice universal, que tome en cuenta todas las variables posibles y permita ajustar el rango de confort a casos locales.

TEP (°C)	Sensation	UTCI (°C) range	Stress Category
> 42,5	very hot	above +46	extreme heat stress
34,9 ~ 42,4	hot	+38 to +46	very strong heat stress
27,3 ~ 34,8	warm	+32 to +38	strong heat stress
19,6 ~ 27,2	neutrality	+26 to +32	moderate heat stress
12,0 ~ 19,5	cool	+9 to +26	no thermal stress
4,4 ~ 11,9	cold	+9 to 0	slight cold stress
< 4,3	very cold	0 to -13	moderate cold stress
		-13 to -27	strong cold stress
		-27 to -40	very strong cold stress
		below -40	extreme cold stress

Tabla 10. a) Escala de un índice de confort regional (TEP) comparado con b) índice de confort universal (UTCI). Fuente: Marques Monteiro, 2009. UTCI, 2018.

En este sentido la organización europea COST Action 730 (Cooperation in Science and Technical Development), comenzó a desarrollar en 2005 el UTCI, índice de confort térmico universal. Que busca a través de la interdisciplina y la transdisciplina lograr una evaluación termo-fisiológica significativa del ambiente térmico requiere de la aplicación de un modelo completo de presupuesto de calor que tome en cuenta todos los mecanismos del intercambio térmico. Variables como temperatura de aire, presión del vapor de agua, velocidad del viento, temperatura media radiante que incluye flujos de calor de la atmosfera de onda corta y de onda larga, además del rango metabólico y la vestimenta.

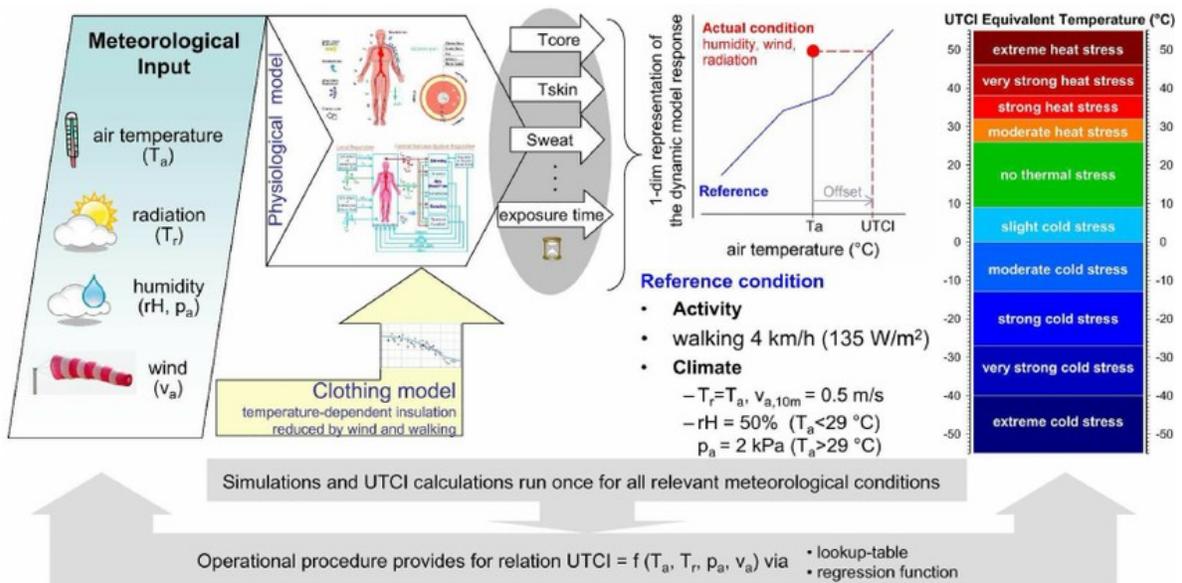


Figura 15. Variables que considera el índice de confort universal (UTCI).

Fuente: UTCI, 2018.

### 2.3.7 Elección de índice de confort

A través de la revisión de los índices de confort, podemos notar una evolución en el manejo de las variables que los integran, por lo que se puede decir que los modelos adaptativos son los que representan de mejor manera las condiciones percibidas por los sujetos, dentro de estos índices el UTCI es el que

presenta una visión más integral y que ha sido validado por diferentes disciplinas e instituciones y se encuentra en continua revisión y desarrollo, estudios como el de *“comparación de UTCI con índices térmicos seleccionados”* por Gerd Jendritzky muestran una alta relación entre UTCI y los índices más desarrollados como el PMV, el PET y el SET. Por lo que cualquiera de estos se considera adecuado para evaluar los ambientes térmicos de las calles y bajo la fronda de los árboles seleccionados en la presente investigación

## CAPÍTULO III METODOLOGÍA

### 3.1 Características de la investigación

En este capítulo se plantea el enfoque del estudio, así como el diseño de investigación, las variables e indicadores a considerar en el estudio y las características y precisión de la instrumentación utilizada para la recolección de datos, así como la logística del trabajo de campo.

#### 3.1.1 Enfoque del estudio

Enfoque adaptativo.

Se considera una investigación con enfoque adaptativo a aquella que utiliza datos de campo, con condiciones de prueba y variación continua (Hernández, S. 2006).

Estudio correlacional

Tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables (Hernández, S. 2006).

En este caso los conceptos que se relacionan son los siguientes:

#### ***Ambiente térmico exterior – Arbolado urbano – Confort térmico peatonal***

A partir de ellos se busca conocer el grado de relación entre la fronda del arbolado urbano y su efecto en el ambiente térmico su espacio inmediato (la calle), y la relevancia como modificador de dicho ambiente en la percepción del confort térmico peatonal.

Estudio transversal

Se lleva a cabo en un periodo corto, aunque elegido de acuerdo con su representatividad, por lo que se recomienda realizar varias observaciones para mayor representatividad de los resultados (Hernández Sampieri, 2006).

### **3.1.2 Esquema metodológico**

#### **1. Determinación de los criterios para la selección de especies del arbolado urbano a estudiar.**

Lo anterior a partir de la revisión de documentos correspondientes al tema de estudio:

- Revisión normativa
- Revisión bibliográfica (SEDUMA, Ayuntamiento, Publicaciones, CICY, CCBA-UADY)
- Entrevistas con expertos (Biólogos y Arboristas)

#### **2. Ubicación de especies del arbolado urbano en función de los siguientes criterios:**

- Recorridos
- Identificación de especies
- Mapeo de los sitios de análisis
- Identificación de las características físicas del espacio urbano

#### **3. Para la determinación de los criterios de medición se realizó la revisión de los siguientes documentos:**

- Bibliografía seleccionada
- Casos análogos de investigación

#### **4. Recolección y procesamiento de datos a partir de:**

- Realización de mediciones en campo

- Procesamiento estadístico de los datos
- Evaluación de los ambientes con índice de confort

## 5. Resultados y conclusiones

- Análisis de los resultados
- Reflexión sobre los criterios de selección de especies de arbolado urbano

### 3.2 Delimitación del estudio

Acotar el polígono urbano de estudio y el tamaño de la muestra del arbolado urbano, fue de suma importancia para la factibilidad del experimento. A continuación, se presenta el criterio para la delimitación de la muestra.

#### 3.2.1 Selección de la muestra

Para la selección de las especies a evaluar se realizó una revisión bibliográfica de las especies de la región identificando aquellas que presentan mejores características para su uso en el espacio urbano, por su tamaño, diámetro de tronco, raíz, dando énfasis en aquellas que presentan un comportamiento perennifolio o semi perennifolio, es decir aquellas que mantienen la mayor parte de su follaje durante las diferentes temporadas climáticas.

A partir del listado de especies realizado se identificaron alrededor de 30 de las especies más utilizadas en el arbolado urbano viario, se clasificaron por talla acotando a 7 especies de talla pequeña y 5 especies de talla grande para posible muestreo, sin embargo, se decidió trabajar con especies de talla mediana- grande ya que éstas al proporcionar mayores áreas de cobertura de copa resultarían más adecuadas para el acondicionamiento de trayectos peatonales como en el caso de las avenidas de la ciudad de Mérida.

El siguiente paso consistió en realizar recorridos físicos en avenidas de la ciudad donde se presentaran de manera cercana las especies identificadas, y que además, se ubicarán ejemplares de talla similar y en condiciones de desarrollo adecuadas.

### 3.2.2 Delimitación de la muestra

La zona identificada con estas características, es decir árboles suficientes ejemplares de árboles de talla y condiciones urbanas similares, fue el polígono delimitado por las Avenidas Colón, Reforma y Paseo Montejo. Donde se identificaron especies de Ramón, Tamarindo, Roble, Chakás, Algarrobos y Maculis, entre otros.

La muestra se acotó a 4 especies, debido diversos factores, entre ellos la cercanía entre especies, esto para evitar el efecto de árboles cercanos y de otros factores que no se pueden controlar, la cantidad de ejemplares disponibles en el área, la talla y porte de los ejemplares, así como las características urbanas de las vialidades.

Las especies seleccionadas fueron 3 árboles perennifolios con fronda densa y talla grande y 1 árbol caducifolio de contraste:

1. **Ramón** (*Brosimum alicastrum*) perenne
2. **Roble** (*Ehretia tinifolia*) perenne
3. **Tamarindo** (*Tamarindus indica*) perenne
4. **Maculis** (*Tabebuia Rosea*) caducifolio

### 3.2.3 Transversalidad del estudio

Como ya se mencionó el estudio busca evaluar el comportamiento estacional de las especies por lo que se plantean mediciones en dos periodos representativos del año:

Periodo 1. Cálido húmedo, en el mes de octubre

El mes de octubre se encuentra hacia el final de la temporada cálida húmeda, por lo que a pesar de que no presenta lluvias tan frecuentes como en los meses previos. El efecto de las precipitaciones sobre la vegetación es evidente en el verdor y abundancia del follaje.

Periodo 2. Cálido seco en el mes de abril

Si bien las temperaturas más altas del año se suelen presentar en el mes de mayo, hacia finales del mes de abril se puede apreciar el efecto de la falta de lluvias y alta incidencia solar, llegando a ocasionar incendios en lotes baldíos en el interior de la ciudad y zonas periurbanas.

### **3.3 Diseño del experimento**

El diseño experimental se definió a partir de la revisión de casos análogos y de los alcances de la investigación. En cada periodo se realizaron mediciones durante cuatro días midiendo un ejemplar de cada una de las cuatro especies de la muestra por día en la zona delimitada, durante 3 horarios del día, mañana, mediodía solar y tarde, por lo que el trabajo de campo se configura de la siguiente manera:

2 periodos, 4 días por periodo

4 especies, 4 ejemplares por especie,

1 ejemplar de cada especie por día

3 mediciones por día (10 a 11hrs, 13 a 14hrs, 16 a 17hrs)

#### **3.3.1 Variables y sus indicadores**

A continuación, se presentan las variables a estudiar así como sus indicadores:

Elementos del espacio urbano	Arbolado urbano	Ambiente térmico de la calle	Confort térmico del peatón
Dimensiones y materiales de la acera	Geometría del árbol Altura y área de cobertura	Temperatura media radiante (Tr)	Tipo de peatón Edad y complejión
Dimensiones y materiales del arroyo vial	Densidad de fronda Transmitancia	Humedad relativa (Hr)	Vestimenta (Clo)
Material y altura del paramento		Temperatura del aire (Ta)	Desgaste metabólico (Met)
		Velocidad del aire (Va)	

Tabla 11. Se muestran las variables e indicadores considerados en el estudio. Fuente: elaboración propia.

### 3.3.2 Instrumentos conceptuales

En esta sección se presentan los conceptos que se consideran en la investigación los cuales están directamente relacionados con los indicadores que permiten cuantificar las variables que intervienen en la hipótesis planteada.

#### I. Elementos del espacio urbano

Se refiere a las características físicas del espacio urbano, como son las dimensiones de la acera, dimensiones de la vialidad vehicular, dimensiones del espacio donde se encuentra la vegetación, tamaño de la poceta, conflicto con infraestructura o afectación a los elementos construidos, mobiliario y características del paramento e identificación de los materiales.

#### II. Ambiente térmico

Las variables que se toman en cuenta del ambiente térmico se seleccionaron a partir de la revisión de casos análogos y son las siguientes:

### **a. Temperatura del aire**

La temperatura del aire ( $T_a$ ) es la que envuelve al cuerpo y condiciona la cesión de calor por conducción, convección y por respiración (Serra Florensa y Coch 2009). Por este motivo es uno de los elementos principales que afecta el confort térmico. Su unidad de medida es el grado Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Desde el punto de vista de la vegetación se han realizado estudios sobre la influencia de la vegetación en la  $T_a$ . Ochoa de la Torre (Ochoa de la Torre 1999) en el 1999, concluyó en su investigación que la temperatura del aire ( $T_a$ ) no es afectada por la vegetación. Esto ocurre debido a que todo es un mismo entorno (Rojas Cortorreal, Roset y Navés 2013) y que la velocidad del viento renueva constantemente el aire, por lo que el cambio que podría crear la vegetación no es perceptible de forma inmediata.

### **b. Humedad relativa**

La humedad relativa del aire (HR) es la encargada de modificar las pérdidas por evaporación de transpiración y la humedad cedida con la respiración (Serra Florensa y Coch 2009). Su unidad de medida es en porcentaje (%).

Se conoce que la vegetación logra aportaciones de humedad al ambiente urbano (GómezMuñoz, Porta-Gándara y Fernández 2010) (Barbirato, Camaúba Torres y Almeida Lisboa 1988). Pero debido a la constante renovación de aire esta no se percibe. Si se conjugan en el espacio árboles y fuentes (Robitu et al. 2006), dependiendo el tipo de clima, esto puede mejorar las condiciones de confort o no.

### **c. Velocidad del viento**

La velocidad del viento ( $V$ ) influye en las por convección y en la eficiencia de la evaporación de la transpiración (Serra Florensa y Coch 2009). Su unidad de medida es en metro por segundo (m/s). En ámbitos urbanos los estudios realizados han demostrado que las irregularidades en las alturas de los edificios permiten una mayor ventilación en el cañón urbano (Carrasco Aldunate 2008). Por

otra parte, la vegetación es una herramienta de control del viento, ofreciendo obstrucción, filtración, deflexión, dirección y disminución de velocidad (Ochoa de la Torre 1999).

#### **d. Radiación solar incidente**

La radiación solar incidente ( $R$ ) es la energía solar recibida proveniente del sol en forma de radiación electromagnética. Su unidad es la irradiación que es la potencia por unidad de superficie. Es un factor y característica macro climática en la que la dirección de incidencia de la radiación depende del movimiento relativo de la tierra y el sol (Serra Florensa y Coch 2009). La unidad de medida de la potencia es el Watio metro cuadrado ( $W/m^2$ ).

Uno de los principales aspectos de la climatología urbana que es afectado por la vegetación es la radiación solar incidente, constituyéndose como el elemento de obstrucción. Varios investigadores (Ochoa de la Torre 1999), Picot (Picot 2004), Robitu et al. (Robitu et al. 2006), Cantón y Fernández (Cantón y Fernández Llano 2007), Carrasco (Carrasco Aldunate 2008), Correa, Ruiz y Cantón (Correa, Ruiz y Cantón 2010) y Makaremi et al. (Makaremi et al. 2012) concluyeron que la vegetación es una herramienta de control climático, debido a la obstrucción que esta genera en la morfología urbana (superficies y al usuario) se ven menos afectados por las aportaciones directas de la radiación solar. Logrando grandes valores de diferencia de Temperatura radiante ( $Tr$ ), radiación reflejada y en el confort visual.

#### **e. Temperatura radiante**

La temperatura radiante media ( $Tr$ ) ponderada de las superficies que rodean al cuerpo, que influye sobre los intercambios radiantes (Serra Florensa y Coch 2009). Su unidad de medida es el grado Celsius ( $^{\circ}C$ ).

El rol que juegan las superficies urbanas en el confort térmico es debido a las aportaciones que ésta ofrece al ambiente. A través de la Temperatura radiante ( $Tr$ ) y radiación solar reflejada. La vegetación entra como elemento que aporta

sombra para la protección de estas superficies (Barbirato, Camaúba Torres y Almeida Lisboa 1988).

Aquí entra en juego la importancia de las decisiones del arquitecto en cuanto a que tipo de superficie utilizará en el espacio urbano. Alchapar, Correa y Cantón (Alchapar, Correa y Cantón 2010) estudiaron el comportamiento de los pavimentos en el espacio urbano, concluyendo que las características del mismo afectan significativamente el balance energético y el comportamiento térmico de cada material.

Por esto, varios investigadores recomiendan la utilización de vegetación como elemento de protección urbana, así como también el aumento uso de pavimentos porosos como los vegetales (Barbirato, Camaúba Torres y Almeida Lisboa 1988; Ochoa de la Torre 1999; Carrasco Aldunate 2008; Armson, Stringer y Ennos 2012; Rojas Cortorreal, Roset y Navés 2013). Concluyendo que la temperatura radiante es uno de los factores que definen el confort térmico microclimático (Rojas, 2016).

### **III. Arbolado urbano**

Las características del arbolado seleccionado que se tomarán en cuenta son:

#### **a. Estructura de forma**

La forma de la copa del árbol se define como el contorno que la misma crea por su ramaje y densidad. La forma del árbol se determina por la composición del ramaje en estado natural, pero en espacios urbanos está estrechamente ligada a la forma de la poda, que según el tipo de uso del espacio se hace para controlar el crecimiento del árbol

#### **b. Dimensiones de la especie arbórea**

La dimensión de una especie arbórea está definida por la altura total que está compuesta por la altura de la copa, la altura del tronco y diámetro de la copa

del árbol. Estos valores varían según el tipo de especie y familia, ya que son las que definen las dimensiones y tipo de hoja.

Para esta investigación nos centraremos en las dimensiones de la copa del árbol, es decir su altura y área de cobertura.

### **c. Densidad de copa**

La densidad de copa es determinada por la cantidad de ramaje y de follaje (hojas). La densidad de ramaje se define como la cantidad y forma de ramas que constituye a un árbol, de donde nacen sus hojas, la misma es afectada por la poda. El follaje o densidad de hoja se define como la cantidad de hojas que se definen por sus características, ya anteriormente explicadas y por su tamaño que viene determinado por la tipología de familia y especie.

Ambos indicadores se convierten en un solo elemento que define la de copa de cada especie arbórea, determinando de esta forma la calidad de la sombra que produce. La densidad de copa se clasifica en tres tipologías: densidad de copa ligera, densidad media y densidad alta, que se determinaran por el análisis fotográfico de la copa del árbol. Estas frondosidades podemos definirlas como:

- La densidad ligera se define por la poca cantidad de hojas o ramas, permitiendo el paso de la radiación solar.
- La densidad media se define por tener una cantidad de hojas y ramas media permitiendo solo el paso de un por ciento de la radiación solar.
- La densidad alta se define como una cantidad de hojas y ramajes que no permite en gran medida el paso de la radiación solar.

La densidad de copa es inversamente proporcional a la transmitancia del árbol por lo que si determinamos su transmitancia obtendremos de igual manera su frondosidad (Rojas, 2016).

### 3.3.3 Instrumentos operacionales

Instrumental utilizado para la realización del trabajo de campo:

- Estación microclimática Delta OHM
- Registradores digitales Hobos para medición de temperatura y humedad
- Distanciómetro láser para medición de alturas
- Flexómetro para medición de ejes de cobertura de las copas.

#### Estación microclimática Delta OHM 32.1

Registrador de datos, programable que permite medir las variables microclimáticas en ambientes interiores o exteriores. Simultáneamente puede detectar las siguientes magnitudes:

- Temperatura termómetro de globo
- Temperatura de bulbo húmedo con ventilación natural.
- Temperatura ambiental
- Presión atmosférica
- Humedad relativa
- Velocidad del aire



Imagen 1. Estación meteorológica con sensores para registro de las variables climáticas.

Fuente: Delta Ohm Manual de instrucciones.

Los valores se pueden transferir a un ordenador a través del software de la estación.

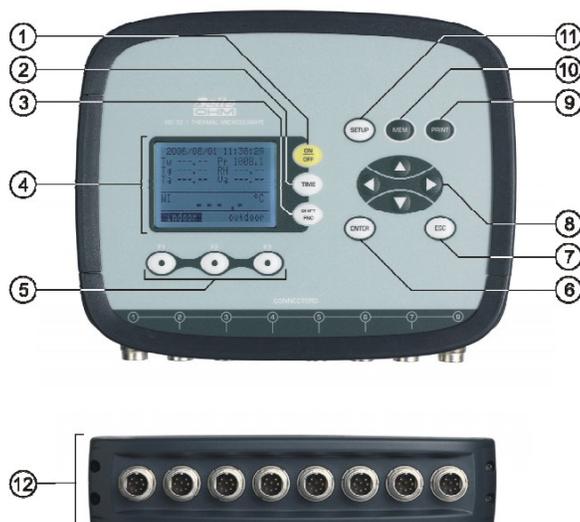


Imagen 2. Unidad digital de la estación y conexiones para sensores.

Fuente: Delta Ohm Manual de instrucciones.

**Las sondas utilizadas para la medición de las variables microclimáticas fueron:**

- 1. Sonda Termómetro de globo  $\varnothing=150$  mm según las normas ISO 7243 - ISO 7726**

Sensor tipo: Pt100 de película fina TP3275

(\*) Incertidumbre medida: Clase 1/3 DIN

Campo de medida:  $-10 \div 100$  °C.

(\*\*) Tiempo de respuesta T95 15 minutos



Imagen 3. Sonda termómetro de globo. Fuente: Delta Ohm Manual de instrucciones.

## 2. Sonda de hilo caliente omnidireccional.

Sensor tipo: NTC 10Kohm                      AP3203

(\*) Incertidumbre de medida:  $\pm 0.2 \text{ m/s}$  ( $0.1 \div 1 \text{ m/s}$ )  $\pm 0.3 \text{ m/s}$  ( $1 \div 5 \text{ m/s}$ )

Campo de medida:  $0.1 \div 5 \text{ m/s}$   $0^\circ\text{C} \dots +80^\circ\text{C}$  (AP3203)

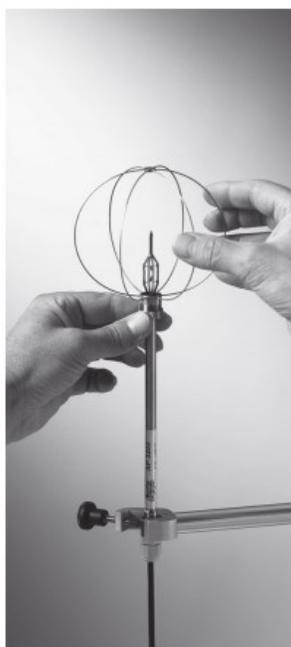


Imagen 4. Sonda de hilo caliente. Fuente: Delta Ohm Manual de instrucciones.

### 3. Sonda de bulbo húmedo con ventilación natural para medir el índice WBGT

Sensor tipo: Pt100                      HP3201

(\*) Incertidumbre de medida: Clase A

Campo de medida: 4 °C ÷ 80 °C

(\*\*) Tiempo de respuesta T95 15 minutos



Imagen 5. Sonda de bulbo húmedo.

Fuente: Delta Ohm Manual de instrucciones.

### 4. Sonda combinada temperatura y humedad relativa. Se utiliza en las medidas de los índices de confort ambientales.

Sensores tipo: - Pt100 de película fina para temperatura - Sensor capacitivo para la humedad relativa.                      HP3217R

(\*) Incertidumbre de medida: Temperatura: 1/3 DIN    Humedad relativa: ± 2.5%

Campo de medida: Temperatura:  $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \div 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  Humedad relativa:  $0 \div 100\% \text{HR}$

T95 % HR            1 minuto

T95 Temperatura   15 minutos



Imagen 6. Sonda combinada de temperatura y humedad relativa.

Fuente: Delta Ohm Manual de instrucciones.

### **Data Loggers Hobo marca Onset**

Registrador de datos, programable que permite medir las variables microclimáticas temperatura y humedad relativa.

Rango de operación:  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$

Exactitud:  $(\pm)0.7^{\circ}\text{C}$  a  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $(\pm)0.8^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}$  y  $45^{\circ}\text{C}$

Resolución:  $0.4^{\circ}\text{C}$  a  $21^{\circ}\text{C}$  y  $0.45^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$  y a  $45^{\circ}\text{C}$

Tiempo de respuesta: 15 minutos

Protector contra la energía radiante.



Imagen 7. Hobo con protector solar.

Fuente: alphaomega electronics.

### 3.4 Sobre el trabajo de campo

En esta sección se detalla la información correspondiente al trabajo de campo, partiendo de las características contextuales y urbanas de la zona de estudio, hasta la descripción propia del trabajo de campo en los días correspondientes a los dos periodos de mediciones.

#### 3.4.1 Zona de estudio seleccionada

El polígono seleccionado para el trabajo de campo está delimitado por las vialidades:

- Paseo de Montejo
- Avenida Colón
- Avenida Reforma

Dichas vialidades se caracterizan por presentar dimensiones amplias, con espacio para la vegetación y para el peatón, y en los cuales se pudo encontrar la

variedad de especies con las características requeridas para este estudio. Su creación corresponde a finales del siglo XIX y principios de siglo XX, cabe mencionar que la creación de vialidades con estas características urbanas se encuentra en desuso por lo que resulta interesante conocer los antecedentes históricos en los que se desarrollaron.

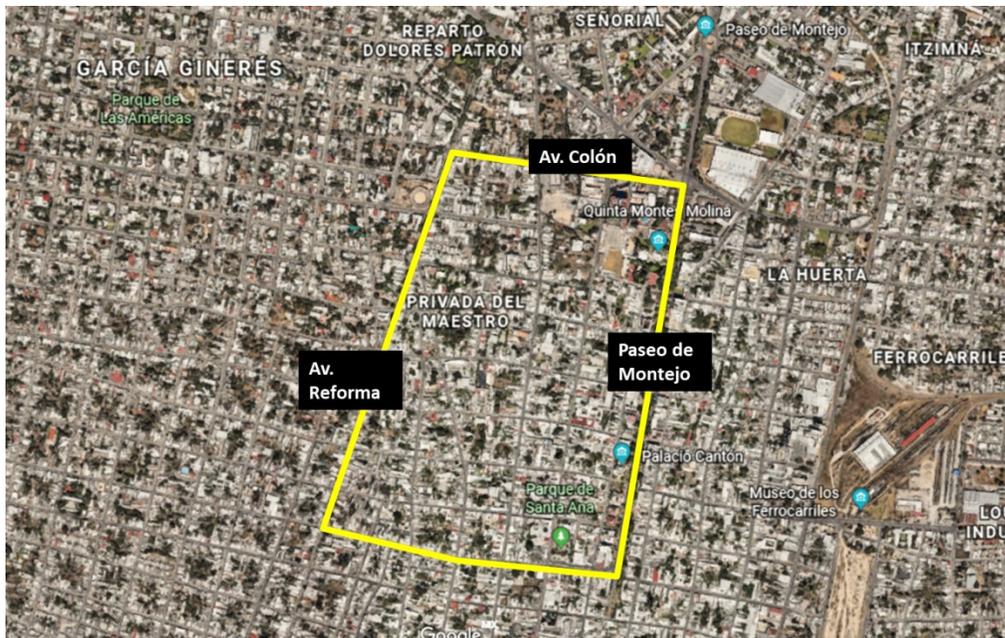


Figura 16. Polígono de estudio y localización de las vialidades que lo delimitan.

Fuente: Elaboración propia.

### Antecedentes históricos

Fue durante el porfiriato que se desarrolló, una segunda etapa de modernización urbana de la ciudad de Mérida, según Espadas Medina (la primera fue durante la segunda mitad del siglo XVIII), en esta segunda etapa se consolida la industria de la fibra del henequén como principal actividad económica, las haciendas henequeneras y las vías férreas tuvieron un rol importante en el auge económico de la ciudad. Esta bonanza no sólo le dio a Mérida calles pavimentadas, iluminación y alcantarillado, sino que aportó y/o consolidó los siguientes ejes urbanos (Díaz, 2014):

- a) La calle 65
- b) La calle 59
- c) El parque Porfirio Díaz y la Avenida de la Paz
- d) El paseo de Montejo, La Avenida Reforma
- e) Nuevas zonas residenciales Itzimná, Chuminópolis y García Ginerés  
(Donde se localizará la Avenida Colón).

### **Paseo de Montejo**

Es la principal vialidad de las antes mencionadas, esta se traza en 1888 como eje de un fraccionamiento de hacendados, comerciantes e industriales. El plano lo traza el ingeniero Rafael R. Quintero al norte del cuartel primero de la traza colonial entre las calles 58 y 56 en el centro de siete manzanas alineadas entre las calles 47 y 33 A.

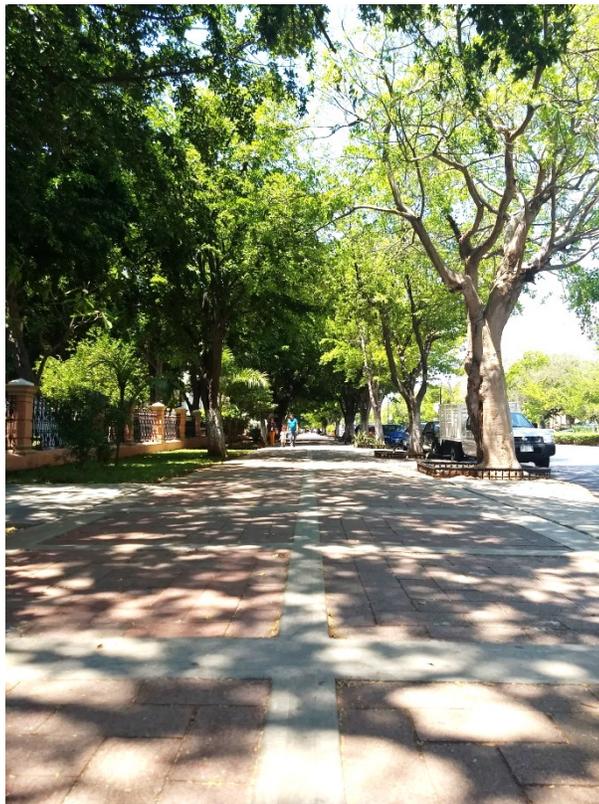


Imagen 8. El paseo de Montejo en la actualidad. Fuente: Imagen de autoría propia.

Su longitud inicial fue de 1,198 m y el ancho de 66.87m sin continuidad vial en ninguno de sus extremos. González Cícero, Stella, “El paseo del Adelantado...” (P. 23). Aunque se comienza durante el gobierno del general Guillermo Palomino, las obras se suspenden diez años reanudándose en 1988 durante el gobierno del general Francisco Cantón, quien le dio un gran impulso, terminándose durante la gestión del licenciado Olegario Molina Solís en 1904.

En su concepción inicial constaba de una avenida principal de 23m de ancho, de dos avenidas laterales de 7.50m y de dos avenidas de 2.50 m que quedaban entre la línea externa de árboles y las cercas de los predios. Posteriormente se modificó a una avenida con banquetas laterales. Aunque cambió con el tiempo, originalmente el Paseo de Montejo fue concebido como un fraccionamiento introvertido de la clase pudiente cuyo diseño, además de implicar una mínima inversión y una máxima plusvalía, segregó socialmente a sus moradores inspirados en las avenidas Haussmanianas, el neoclásismo y las soluciones urbanas barrocas con remates visuales, dando por resultado una solución ecléctica que caracteriza también a su arquitectura (Peraza, 2005).



Imagen 9. Arbolado urbano del Paseo de Montejo. Fuente: Imagen de autoría propia.

Con la aparición de las casas edificadas en el Paseo de Montejo y la Avenida Melchor Ocampo, el límite entre lo público y lo privado se transformó. Las viviendas de la época en esta zona se caracterizan por estar alejadas de la calle, separadas de sus linderos y con desplante, la separación y definición de los ámbitos público y privado requirió el apoyo de muchos elementos materiales para poder consolidarse, encontrándose entre estos los enverjados de hierro y los jardines privados que junto con los espacios arbolados de las amplias aceras crean una vialidad con gran riqueza espacial que retoma los conceptos racionalistas de la ilustración (Arana, 2013).

### **Avenida Reforma**

El paseo de Reforma constituyó otro eje de importancia, aunque se traza ya propiamente en 1908, conlleva los principios liberales de la época y viene a ser prácticamente la réplica al conservador Paseo de Montejo, ya que se diseña con principios contrapuestos, esto es, abierto, plural, sin suntuosidad ni

grandilocuencia, aunque orientado en el mismo sentido. Se traza de la plaza de Santiago hasta el Asilo Celarain, al norte (Peraza, 2005).

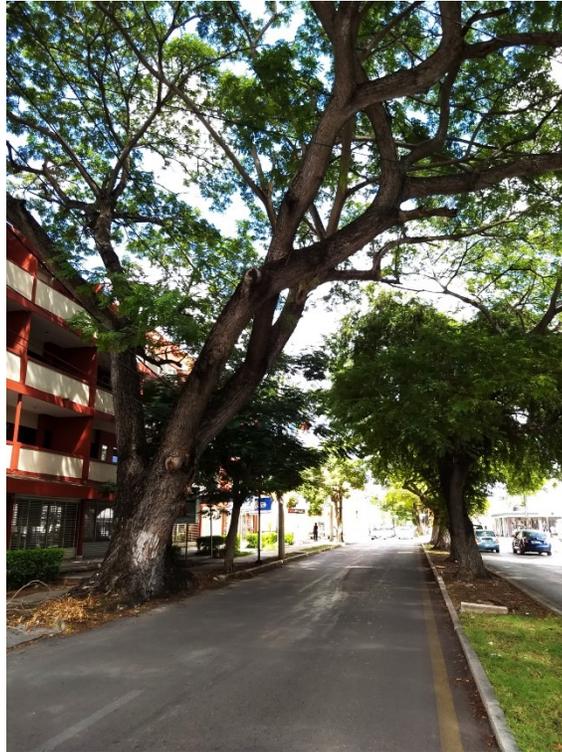


Imagen 10. Avenida Reforma en la actualidad.

Fuente: Imagen de autoría propia.

Los paseos de esta segunda modernización urbana de la ciudad de Mérida invierten el antiguo contraste fisionómico urbano-rural consistente en calles desprovistas de vegetación. Hasta entonces sólo las calles de los barrios adyacentes y recién conurbados mostraban, a través de albarradas, el interior verdoso de los predios, anunciando los límites del espacio urbano.; la percepción de la vegetación en las calles era síntoma del predominio rural. Con estas nuevas vialidades la vía pública renueva su significado al compatibilizar la infraestructura urbana y los valores campiranos. A partir de entonces, señala Peraza, sería un lujo y señal de civilidad, tener en un mismo espacio la ambientación del campo y el confort urbano (Díaz, 2014).

## Avenida Colón

La unión del Paseo de Montejo con la calzada de San Cosme fue concluida por el gobernador Salvador Alvarado; así lo anunció en su último informe de gobierno en enero de 1918, referenciándola por su nomenclatura; calle 33-A (Díaz, 2014). Sin embargo, fue hasta 1920 que los vecinos de San Cosme, renombrada como Colonia García Ginerés, fueron quienes pusieron en marcha la transformación de la zona y reactivaron el proyecto “revolucionario “. Agrupados es una junta de mejoras materiales, lograron construir e inaugurar el 12 de octubre de 1920 la Avenida Colón, es decir, la existente calzada principal de la colonia con adecuaciones hechas para que se convirtiera en un paseo (Peraza, 2007).



Imagen 11. Avenida Colón en la actualidad. Fuente: Imagen de autoría propia.

### Características urbanas de la zona de estudio

Como se puede observar, las dimensiones de las vialidades de la zona de estudio son mucho más amplias, destaca el paseo de Montejo con un ancho total de 43 m, unas dimensiones atípicas si lo comparamos con las características de las avenidas del resto de la ciudad, con trayectos peatonales de 5m de ancho que permitieron la implementación de vegetación de gran porte, a pesar de que tales condiciones responden a un momento histórico donde el paseo, era un espacio público importante y de encuentro social, cabe destacar a más de 100 años de su construcción es un espacio que se ha adaptado al uso contemporáneo, es un espacio caminable a cualquier hora del día por lo que se ha convertido en un punto de reunión social que alberga diferentes actividades, recreativas y comerciales.



Imagen 12. El Paseo de Montejo en domingo, durante el evento “Bici ruta” el cual se lleva a cabo cada domingo de 7am a 12pm, desde el año 2006. Fuente: Imagen de autoría propia.

Si bien el caso de la Avenida Reforma y Avenida Cupules es diferente, siguen siendo avenidas amplias con arbolado que brinda sombra al peatón de manera más o menos continua y siguen en términos generales con la paleta vegetal del Paseo de Montejo.

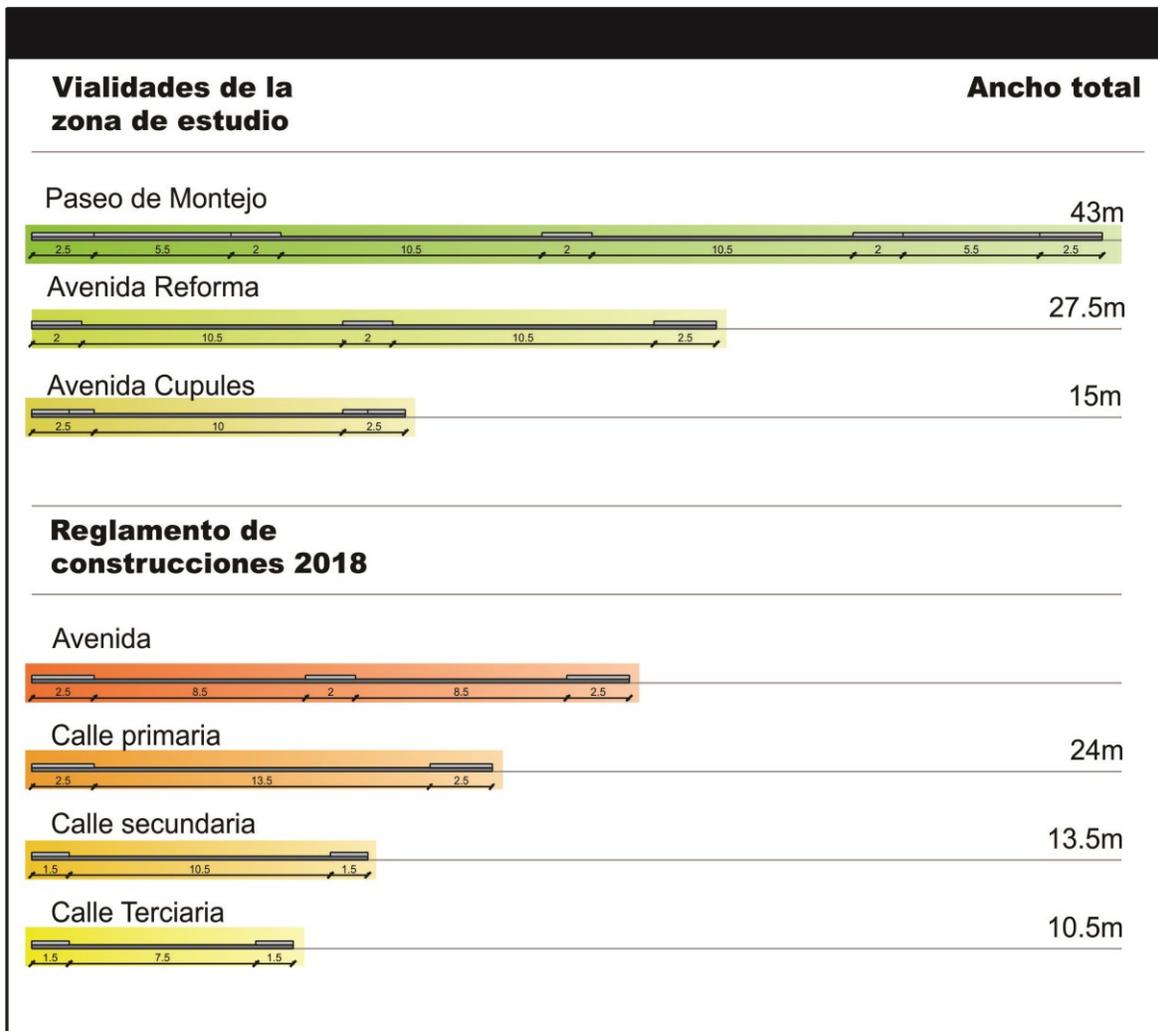


Figura 17. Comparativo de las dimensiones en corte de las vialidades de la zona de estudio y vialidades según reglamento de construcción 2008. Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.2 Especies arbóreas seleccionadas

A continuación, se describen las características de las especies seleccionadas para su estudio.

#### **Ramón, Ox – *Brosimum, alicastrum* Sw. Familia: MORACEAE**

Descripción: Árbol de hasta 30 m de altura en el espacio rural y de 20 a 25m de altura en el urbano, diámetro de tronco superior a los 50cm. perennifolio, hojas de forma alargada de color verde oscuro, la corteza es lisa o escamosa de color gris a parduzco con abundante exudado blanco lechosos y pegajosos, tronco recto con un diámetro de hasta 1.5m, la copa es piramidal con ramas ascendentes y luego colgantes de follaje denso y poca transparencia.



Imagen 13. Ejemplar de *Brosimum, alicastrum* en Paseo de Montejo.

Fuente: Imagen de autoría propia.

Flores pequeñas sin pétalos, visitadas por abejas meliponas (las cuales son endémicas de la región y de gran importancia para el equilibrio ecosistémico), los

frutos son bayas de 2 a 2.5cm color naranja cuando maduran, carnosas de sabor y aroma dulce, con una semilla. Las raíces son profundas con grandes contrafuertes por lo que resiste el paso de vientos fuertes, es de crecimiento rápido y se propaga por semilla, es una especie longeva.

Recomendaciones de uso: Como árbol ornamental y de sombra en parques, jardines y avenidas.

Otros usos: los frutos y hojas son utilizados principalmente como forraje, su madera es utilizada para la construcción de casas.

Distribución: Desde Tamaulipas a Quintana Roo por el Golfo de México y de Sinaloa a Chiapas por la vertiente del Océano Pacífico.

La época de floración se presenta dos veces al año, la principal época de floración es de febrero a marzo, al igual que la fructificación. Sus raíces son muy profundas y llegan a alcanzar agua subterránea. Se reproduce por semilla, requiere abundante riego los primeros 3 años (Orellana, 2007).

#### **Tamarindo - *Tamarindus indica* L. Familia: FABACEAE**

Descripción: Árbol de gran porte que en nuestra región puede crecer algo más de 20m y diámetro mayor de 50cm. Su corteza es gris pardo muy fisurada y desprendible cuando es adulto. Su madera dura. La copa de este árbol es muy densa y perennifolia; de hojas compuestas, bipinnadas, con folíolos pequeños, inferiores a 1cm. Flores amarillo pálido, poco abundantes; la floración se presenta durante el invierno. Sus frutos son legumbres de 8-10cm. Las raíces de esta especie son muy desarrolladas y profundas.



Imagen 14. Ejemplar de *Tamarindus indica* en Avenida Reforma.

Fuente: Imagen de autoría propia.

Trasplante, crecimiento y cuidado: Debido a que puede alcanzar grandes tallas se recomienda hacer una poceta profunda, de más de 100 cm y diámetro de 75 a 100 cm. La tierra con que se rellene dicha poceta debe ser de buena calidad. Aproximadamente, entre los seis y diez años de edad comienza a florecer y fructificar. Para ese entonces se recomienda aplicar riego continuo con la finalidad de que los frutos sean de calidad.

Información adicional:

El tamarindo es una especie procedente de la india. No es un árbol nativo, pero la experiencia previa de cultivarlo en las calles de Mérida ha dado muy buenos resultados. Las observaciones directas han indicado que no rompen escarpas. Sin embargo, es mejor que desde el trasplante inicial se procure una poceta profunda. Por otro lado, se puede tener un árbol que provee muy buena

sombra y del que gustosamente a finales del verano se pueden cosechar sus frutos, muy apreciados para la extracción de la pulpa.

Origen: África tropical y Asia.

**Roble, Beek – *Ehretia tinifolia* L. Familia: BORAGINACEAE**

Descripción: Árbol que puede alcanzar hasta 25 m de altura en medio rural y aproximadamente 20m en el medio urbano, follaje perennifolio, las hojas tienen forma alargada con una consistencia parecida al papel, de apariencia lustrosa. Corteza de color grisáceo y fisurada, el diámetro del tronco de hasta 100cm, su copa es de tipo piramidal, altamente ramificada y muy densa por lo que la transparencia del follaje es mínima.

Presenta flores pequeñas de color blanco muy visitadas por las abejas meliponas, los frutos son sub globosos pequeños de color amarillo a rojo al madurar. Árbol de raíces fuertes, profundas y abundantes por lo que es resistentes a los fuertes vientos, se propaga por medio de semillas, altamente tolerante a la radiación solar y no es exigente al tipo de suelo para su desarrollo, su crecimiento es lento y es una especie longeva.



Imagen 15. Ejemplar de *Ehretia tinifolia* en Avenida Colón.

Fuente: Imagen de autoría propia.

Recomendaciones de uso: Especie ornamental. Se recomienda como árbol de sombra en avenidas y jardines amplios.

Otros usos: sus hojas son utilizadas en la medicina tradicional y la madera en la construcción.

Distribución: Desde México hasta Centroamérica y las Antillas.

Trasplante, crecimiento y cuidado: La poceta que se necesita para plantar esta especie debe ser grande y profunda (aproximadamente 75cm de ancho por 70cm de hondo). El riego deberá ser abundante al momento del trasplante, pero cuando se ha establecido no lo necesita en demasía.

Es un árbol muy recomendable para plantarse en banquetas anchas, jardines grandes o patios, por la excelente sombra que proporciona. Se

recomienda que sus raíces, muy profundas, cuenten con el espacio para penetrar y alcanzar el manto acuífero subterráneo.

Información adicional: El árbol recibe el nombre vernáculo de roble por el gran parecido con los verdaderos robles; pero esta especie no está emparentada con ellos que son de la familia Fagaceae y crecen en tierras templadas. Se recomienda podar las ramas cuando el árbol sea viejo, pues tiende a perder el follaje y acumular mucho leño. Esta especie ha sido muy utilizada como planta de sombra en la región; podemos apreciar una buena cantidad de robles en el Paseo Montejo y en la Avenida Colón de la ciudad de Mérida.

**Maculis - *Tabebuia Rosea* (Bertol.) D.C. Familia: BIGNONIACEAE**

Descripción: Árbol de hasta 30m de altura en el medio rural y hasta 20 m de altura en el medio urbano, caducifolio, de corteza grisácea ligeramente fisurada tronco corto con un diámetro de hasta 70cm, copa dispersa y estratificada con una ramificación dicotómica de follaje denso, hojas palmado-compuestas.

Floración de color rosa-lila y en ocasiones blanco con forma de embudo, florece de enero a abril. El fruto es una capsula linear-cilíndrica de 20 a 35cm de longitud. Sistema radial superficial y leñoso con grandes contrafuertes, se desarrolla preferentemente en suelos de origen calizo. Presenta un crecimiento rápido así como sus primeras floraciones. Es una especie de vida bastante larga. Se propaga por medio de semilla.



Imagen 16. Ejemplar de *Tabebuia Rosea* en Avenida Colón.

Fuente: Imagen de autoría propia.

Recomendaciones de uso: Como árbol de ornato y para producir sombra, para plantarse en parques y avenidas, no se recomienda su uso en aceras pequeñas, debido al gran desarrollo de contrafuertes y raíces. Cabe mencionar que, a pesar de su recomendación de uso para sombra, la sombra que proporciona no es constante a lo largo del año, debido principalmente a su condición de caducifolio.

Otros usos: La madera es usada para la fabricación de chapa. Tiene usos en la medicina tradicional.

Distribución: desde México y de las Antillas al norte de Argentina.

Trasplante, crecimiento y cuidado: Se requiere una poceta profunda, 150cm o más por 75cm de diámetro. Se recomienda regar casi a diario después del trasplante, utilizando una buena tierra oscura con apreciable cantidad de materia

orgánica y libre de pedruscos. Cuando haya alcanzado cerca de 2m de altura se aconseja colocar una guía para que crezca recto. Se recomienda plantar en aceras, parques y jardines.

NOMBRE COMÚN	Ramón	Roble	Tamarindo	Maculis
FAMILIA	Moraceae	Boraginaceae	Fabaceae	Boraginaceae
NOMBRE CIENTÍFICO	<i>Brosimum alicastrum</i>	<i>Ehretia tinifolia</i>	<i>Tamarindus indica</i>	<i>Tabebuia rosea</i>
ORIGEN	nativa	nativa	introducida	nativa
TIPO DE RAÍZ	pivotante-profunda	pivotante-profunda	profunda	somera ramificada
TALLA	grande	grande	grande	grande
ALTURA MEDIO URBANO	20 a 25m	10 a 20m	15 a 25m	15 a 20m
DIÁMETRO DE COPA	10 a 12m	11 a 12m	20m	6 a 8 m
TIPO DE FOLLAJE	perenne	perenne	perenne	caduco
FLORACIÓN	febrero -marzo	-	verano	enero - abril
DIÁMETRO DE TRONCO	50cm	hasta 100cm	> 50cm	hasta 70cm
DISTANCIA A CONSTRUCCIÓN	4m	4 a 5m	3 a 6m	4 a 5 m
DISTANCIA A TUBERÍAS	4m	4 a 5m	3 a 6m	4 a 5 m
RIEGO	c/2 días	c/2 días	c/4 días	c/2 días
TAMAÑO DE ARRIATE	1.5x1.5m	1.5x1.5m	3x3m	2x2m

Figura 18. Características de especies seleccionadas.

Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía consultada.

### 3.4.3 Logística del trabajo de campo

Previo al trabajo de campo, se monitorearon las condiciones climáticas locales para que los días del periodo de medición fueran lo más cercano a un día típico de la temporada climática correspondiente.

En sitio: se colocó la estación climática debajo de la fronda del árbol para medir el microclima, se coloca otra estación a aproximadamente 3m fuera del área de cobertura del árbol. Se colocó un hobo en cada estación para respaldo de los

datos medidos. Durante cada horario, se tomaron datos durante 10 minutos a intervalos de 2 minutos, teniendo 5 registros por ejemplaren cada horario. Posteriormente, se procedió a llenar el formato de registro y se tomaron dimensiones del espacio urbano, se registraron materiales y medición de las temperaturas superficiales al sol y a la sombra con la pistola de medición. Se tomaron imágenes fotográficas de la copa del árbol en cuatro puntos (norte, sur, este, oeste) para el posterior cálculo de transmitancia.

### **Del registro de los datos**

Se descargaron de los diferentes instrumentos cada día, al término del trabajo de campo, dichos datos se respaldaron en archivo de texto o de base de datos.

Se descargaron y organizaron las imágenes de copa de los árboles, por ejemplar y por especie.

Del procesamiento de los datos.

Se organizaron los datos climáticos de las estaciones y hobos por día, especie, ejemplar y horarios de medición para el cálculo de los promedios de las diferentes variables.

El promedio de los datos proveyó la información necesaria para el cálculo de PVM y la temperatura percibida SET, según la calculadora Comfort tool de la Universidad de Berkeley.

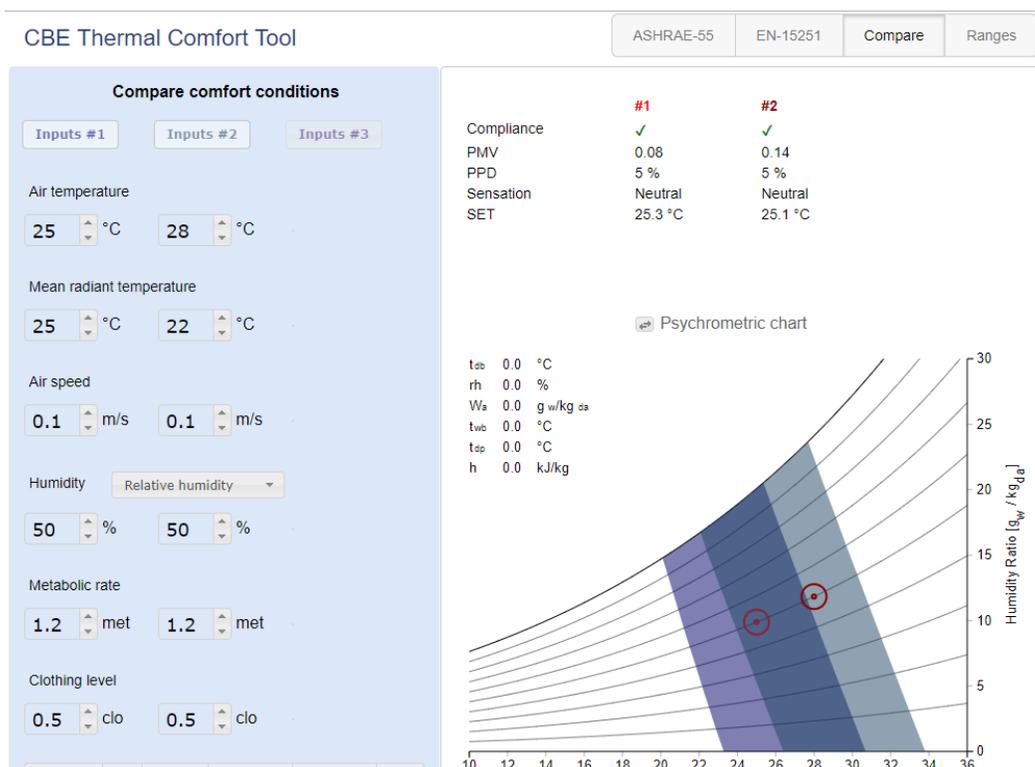


Figura 19. Interfaz de la calculadora de confort.

Fuente: Recuperado de <http://comfort.cbe.berkeley.edu>

Las imágenes fotográficas se procesaron mediante software Imagej, para el cálculo de transmitancia, el proceso consiste en abrir el programa Imagej, abrir imagen desde el programa, en la sección procesar, cambiar a modo binario (binary), en la sección imagen invertir, en la sección analizar se selecciona la opción de histograma y posteriormente en la opción “lista” se capturan la cantidad de puntos de luz y sombra y el total, los cuales se organizaron en una hoja de cálculo y se estimó el porcentaje de transmitancia y frondosidad.

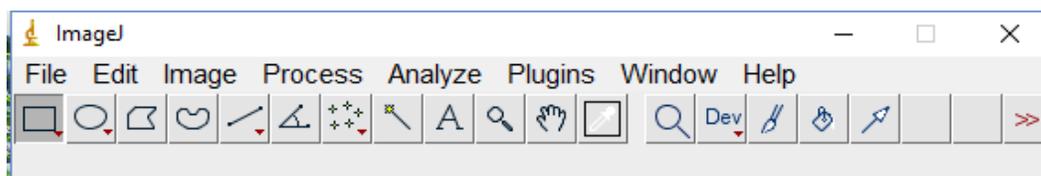


Figura 20. Interfaz del software Imagej. Fuente: Recuperado de <https://imagej.nih.gov/ij>

Hipóticamente la variable en la que mayor incidencia tiene la superficie de cobertura de copa es en la Tr y por tanto modifica significativamente el ambiente y el índice de confort.

### **Trabajo de campo correspondiente al periodo 1**

El primer periodo de mediciones corresponde al final de la estación cálida húmeda en el cual se pueden observar los efectos de la temporada de lluvia en el verdor y densidad de la fronda de los árboles. Se realizó el trabajo de campo los días 25, 26 y 27 de octubre de 2018, el cuarto día de medición se descartó debido a un cambio no previsto en las condiciones climáticas por la aparición de un frente frío.

Durante los 3 días del experimento se tomaron mediciones a 3 ejemplares por cada una de las cuatro especies seleccionadas, dentro de la zona delimitada, teniendo como resultado mediciones para 12 ejemplares, cada uno medido en 3 horarios, mañana 9 a 10 am, medio día solar 12 a 13hrs y tarde 15:00 a 16hrs.

En cada horario de cada día se realizó una ronda para cubrir las mediciones de las 4 especies.



Imagen 17. Estación climática bajo Ramón en zona de Paseo de Montejo.

Fuente: Imagen de autoría propia.

En la siguiente tabla se muestra el orden de medición de los ejemplares en cada horario.

Día 1					
Horario 1	9 a 10 hrs	Horario 2	12 a 13 hrs	Horario 3	15 a 16 hrs
Rol de mediciones					
Maculis 1, Roble 1, Ramón 1, Tamarindo 1					
Día 2					
Horario 1	9 a 10 hrs	Horario 2	12 a 13 hrs	Horario 3	15 a 16 hrs
Rol de mediciones					
Maculis 2, Roble 2, Ramón 2, Tamarindo 2					
Día 3					
Horario 1	9 a 10 hrs	Horario 2	12 a 13 hrs	Horario 3	15 a 16 hrs
Rol de mediciones					
Maculis 3, Roble 3, Ramón 3, Tamarindo 3					

Tabla 12 Horarios por día y rol de mediciones correspondiente al periodo 1 (octubre de 2018).  
Fuente: Elaboración propia.

### Trabajo de campo correspondiente al periodo 2

El segundo periodo de mediciones corresponde a la estación cálida seca, como ya se mencionó la falta de lluvias y altas temperaturas se evidencian en el follaje de gran parte del arbolado de la ciudad. Se realizó el trabajo de campo los días 22,23, 24 y 25 de abril de 2019.



Figura 21. Polígono de estudio y localización de los ejemplares seleccionados para el trabajo de campo. Fuente: Elaboración propia.

Durante los 4 días del experimento se tomaron mediciones a 3 ejemplares por cada una de las cuatro especies seleccionadas, dentro de la zona delimitada, teniendo como resultado mediciones para los 16 ejemplares planteados originalmente, cada uno medido en 3 horarios, mañana 10 a 11 am, medio día solar 13 a 14hrs y tarde 16:00 a 17hrs (El cambio de horario con respecto al periodo anterior se debe al uso horario conocido como “horario de verano” el punto de referencia fue el mediodía solar para ambos periodos).



Imagen 18. Hobo con protección solar, en la zona de Avenida Reforma.

Fuente: Imagen de autoría propia.

Para el segundo periodo de mediciones se realizaron ajustes al experimento, de esta manera se utilizaron 3 estaciones microclimáticas (las cuales midieron de manera simultánea en las 3 vialidades), lo cual implicó una mayor planeación logística para coordinar los 3 puntos de medición.

Día 1					
Horario 1	10 a 11 hrs	Horario 2	13 a 14 hrs	Horario 3	16 a 17 hrs
Rol de mediciones					
Zona Paseo de Montejo: Ramón 1, Tamarindo 1; Zona Av. Reforma: Maculis 1; Zona Av. Colón: Roble 1					
Día 2					
Horario 1	10 a 11 hrs	Horario 2	13 a 14 hrs	Horario 3	16 a 17 hrs
Rol de mediciones					
Zona Paseo de Montejo: Ramón 2, Tamarindo 2; Zona Av. Reforma: Maculis 2; Zona Av. Colón: Roble 2					
Día 3					
Horario 1	10 a 11 hrs	Horario 2	13 a 14 hrs	Horario 3	16 a 17 hrs
Rol de mediciones					
Zona Paseo de Montejo: Ramón 3, Tamarindo 3; Zona Av. Reforma: Maculis 3; Zona Av. Colón: Roble 3					
Día 4					
Horario 1	10 a 11 hrs	Horario 2	13 a 14 hrs	Horario 3	16 a 17 hrs
Rol de mediciones					
Zona Paseo de Montejo: Ramón 4, Tamarindo 4; Zona Av. Reforma: Maculis 4; Zona Av. Colón: Roble 4					

Tabla 13. Horarios por día y rol de mediciones correspondiente al periodo 2 (abril de 2019).

Fuente: Elaboración propia.

## CAPITULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 4.1 Variabilidad del ambiente térmico urbano

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del trabajo campo en las zonas de estudio y temporadas climáticas anteriormente descritas. Para lo cual comenzaremos por analizar los hallazgos más representativos de las variables que integran el concepto de ambiente térmico urbano, las cuales como ya se ha mencionado son: temperatura del aire ( $T_a$ ), temperatura radiante ( $T_r$ ), velocidad del aire ( $V_a$ ) y humedad relativa ( $H_r$ ). Respecto a la temperatura del aire ( $T_a$ ) y humedad relativa ( $H_r$ ), cabe señalar que se obtuvieron además de las mediciones en campo los datos registrados por el Observatorio Meteorológico de Mérida ubicado en la Av. Benito Juárez No. 751 Colonia Sambulá, para los días correspondientes al periodo uno y dos de mediciones.

#### 4.1.1 Variabilidad de la temperatura del aire

Durante el primer periodo de mediciones (mes de octubre) la temperatura máxima al sol registrada por la estación microclimática en campo fue de  $37.9^{\circ}\text{C}$  mientras que la mínima fue de  $32^{\circ}\text{C}$ . En cuanto a la temperatura registrada por el observatorio meteorológico la máxima fue de  $32.8^{\circ}$  y la mínima de  $30^{\circ}\text{C}$ . Se encontró una diferencia máxima de temperaturas de  $5.4^{\circ}\text{C}$  entre el observatorio y el ambiente urbano en un mismo horario, esto en la zona de Avenida Colón en el horario de las 16:00hrs.

Ta Periodo 1		Ta Periodo 2	
Ta Max Sol	Ta Min Sol	Ta Max Sol	Ta Min Sol
37.9°C	32°C	43.9°C	31.3°C
Ta Max Sombra	Ta Min Sombra	Ta Max Sombra	Ta Min Sombra
35.2°C	29.9°C	40.3°C	29.2°C
Ta Max observatorio	Ta Min observatorio	Ta Max observatorio	Ta Min observatorio
32.8°C	30°C	37°C	30°C
$\Delta Ta$ Max	$\Delta Ta$ Max	$\Delta Ta$ Max	$\Delta Ta$ Max
sol/sombra	sol/observatorio	sol/sombra	sol/observatorio
3.4°C	5.1°C	6.2°C	6.9°C

Tabla 14. Valores críticos de la variable (Ta) temperatura del aire, para el periodo 1 y 2.

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo periodo de mediciones (mes de abril) las condiciones de temperatura del aire se elevaron considerablemente como es característico de dicha temporada climática. En este periodo la temperatura máxima al sol registrada por la estación microclimática fue 43.9°C y la mínima de 31.3°C, la temperatura máxima registrada por el observatorio fue de 37°C y la mínima de 30°C. Se encontró una diferencia máxima de temperaturas de 6.9°C en la zona de Avenida Colón en el horario de las 16:00hrs, lo que evidencia el hecho de que la estructura urbana modifica las condiciones climáticas regionales.

#### 4.1.2 Variabilidad de la temperatura radiante

Como se mencionó en el capítulo anterior la temperatura radiante ( $T_r$ ) tiene una influencia importante en el ambiente térmico microclimático ya que incluye el calor emanado por los objetos y materiales circundantes, en relación con el trabajo de campo, en el primer periodo (octubre) se registró una  $T_r$  máxima de 52.6° al sol y una mínima de 44.2°C, a la sombra la máxima registrada fue de 48.9°C y la mínima de 32.7°C. En contraste en el segundo periodo de mediciones (abril) las  $T_r$  al sol se elevó considerablemente con una máxima de 73.9°C y una mínima de 47.33°C mientras que la temperatura radiante a la sombra (bajo árbol) se presentó

de manera muy similar al periodo anterior con una máxima de 48.9°C y una mínima de 32.89°C.

Tr Periodo 1		Tr Periodo 2	
Tr Max Sol	Tr Min Sol	Tr Max Sol	Tr Min Sol
52.6°C	44.2°C	73.9°C	47.33°C
Tr Max Sombra	Tr Min Sombra	Tr Max Sombra	Tr Min Sombra
48.9°C	32.7°C	48.9°C	32.87°C

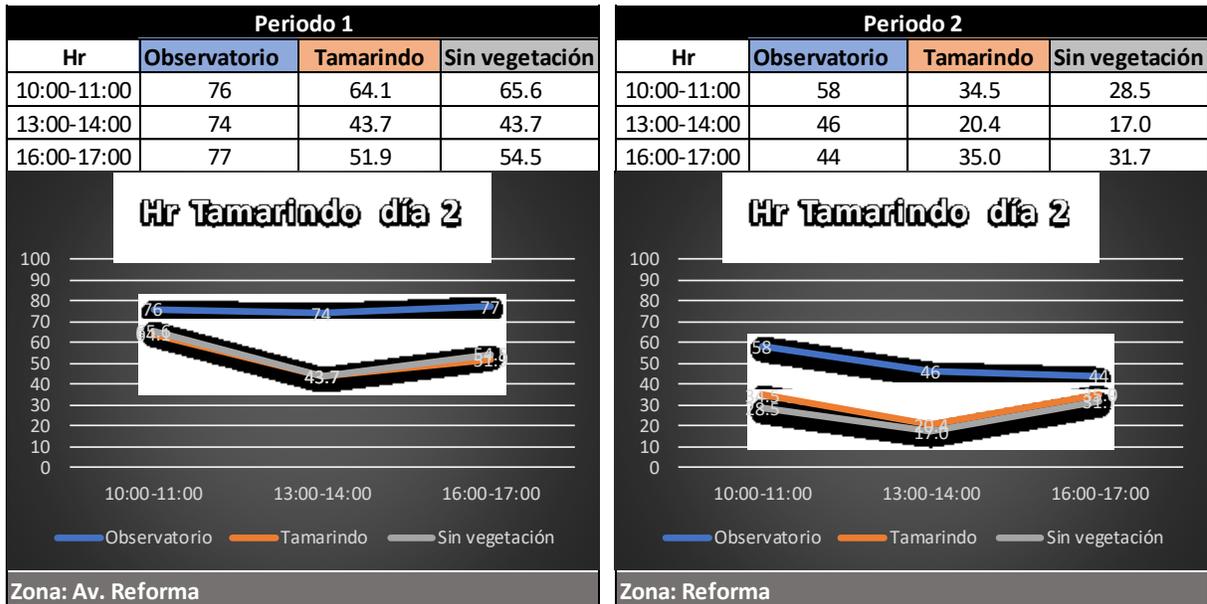
Tabla 15. Valores críticos de las condiciones de temperatura radiante (Tr) para el periodo 1 y 2.  
Fuente: Elaboración propia.

Estos datos comprueban cierto grado de eficacia de la vegetación para mitigar las condiciones de la temperatura radiante.

#### 4.1.3 Variabilidad de la humedad relativa

En cuanto al comportamiento de la humedad relativa (Hr), los valores de esta variable disminuyeron considerablemente en el periodo 2 (abril) respecto al periodo anterior (octubre), cabe destacar el comportamiento observado en la variable en las mediciones bajo los árboles en relación con las mediciones sin protección solar y las del observatorio:

Como se muestra en la gráfica la humedad relativa en el ambiente urbano es considerablemente más baja para los dos periodos respecto a los datos del observatorio meteorológico regional.



Gráfica 1. Comportamiento de la variable Hr (humedad relativa) en la zona de Av. Reforma en el mes de octubre, periodo 1. Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2. Comportamiento de la variable Hr (humedad relativa) en la zona de Av. Reforma en el mes de abril, periodo 2. Fuente: Elaboración propia.

La humedad relativa bajo copa de árboles para el periodo cálido húmedo resultó ser hasta 9.9% menor con respecto al ambiente urbano sin protección solar y hasta 40.3% respecto al observatorio meteorológico, mientras que en el segundo periodo se presentó un aumento en la humedad relativa bajo copa de árbol de hasta 14.8% respecto al ambiente de la calle, en contraste se presentó bajo copa una diferencia de hasta 27.2% menor respecto al observatorio.

En relación con lo anterior se infiere que este cambio en el comportamiento de la variable, es decir el aumento de la Hr bajo el árbol en el periodo cálido seco, puede estar relacionado con el proceso de evapotranspiración y los mecanismos de autorregulación de la vegetación, ya que al presentarse porcentajes de humedad altos en el ambiente urbano circundante, el efecto de la evapotranspiración no es apreciable mientras que para el segundo periodo con humedades relativas mucho más bajas el proceso evaporativo del follaje resulta

más evidente, elevando el porcentaje de humedad en el microambiente bajo el árbol.

#### 4.1.4 Variabilidad de la velocidad del aire

Respecto a la variable velocidad del aire ( $V_a$ ), se registraron valores muy similares en los 3 horarios en los diferentes ambientes urbanos, la medición del mediodía resultó en la mayoría de los casos ser el momento del día con menor velocidad del aire. Se observaron también, diferencias entre las velocidades del aire del primer periodo y el segundo, resultando el segundo periodo (abril) con las velocidades de aire más altas.

Va Periodo 1		Va Periodo 2	
Horario	Va (m/s)	Horario	Va (m/s)
<b>Ramón (<i>Brosimum alicastrum</i>)</b>		<b>Ramón (<i>Brosimum alicastrum</i>)</b>	
10:00	1.3	10:00	1.7
13:00	1.1	13:00	1.2
16:00	1.3	16:00	1.5
<b>Tamarindo (<i>Tamarindus indica</i>)</b>		<b>Tamarindo (<i>Tamarindus indica</i>)</b>	
10:00	0.9	10:00	1.4
13:00	0.8	13:00	1.3
16:00	1.1	16:00	1.1
<b>Maculis (<i>Tabebuia Rosea</i>)</b>		<b>Maculis (<i>Tabebuia Rosea</i>)</b>	
10:00	1	10:00	1.5
13:00	0.9	13:00	1.3
16:00	0.7	16:00	1.4
<b>Roble (<i>Ehretia tinifolia</i>)</b>		<b>Roble (<i>Ehretia tinifolia</i>)</b>	
10:00	0.7	10:00	1.1
13:00	0.7	13:00	0.9
16:00	0.6	16:00	1.1

Tabla 16. Variaciones de la velocidad del aire ( $V_a$ ) bajo la copa de los árboles para el periodo 1 y

2. Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar, que si se analiza la relación de la variable  $V_a$  con la zona de medición, podemos notar que las mediciones bajo los especímenes de Roble (*Ehretia tinifolia*) presentaron velocidades del aire menores respecto a las de las

otras especies durante los dos periodos de medición, esto puede estar relacionado con la orientación del cañón urbano, ya que mientras las zonas de Paseo de Montejo y Avenida Reforma se encuentran en dirección N-S , la zona de Av. Colón donde se localizan los 4 ejemplares de Roble, se encuentra en dirección oriente-poniente por lo que la morfología urbana bloquea los vientos predominantes que en el caso de Mérida son en dirección noreste-sur.

Otro dato interesante resulta de la variación de la velocidad del aire ( $V_a$ ) debajo del árbol respecto al ambiente urbano expuesto, en donde se presentó una disminución de la velocidad del aire de entre 0.3 y 0.5m/s bajo el árbol en relación con el ambiente urbano, es decir la calle.

#### **4.1.5 Variabilidad de la transmitancia de fronda**

Como se describió en el planteamiento metodológico, mediante el procesamiento de las imágenes (fotografías) de la copa de los árboles a través del software Imagej se calculó el porcentaje de protección de cada especie a la incidencia solar y su indicador inverso, la transmitancia, es decir a mayor transmitancia menor protección a la incidencia solar.

A partir de dicho procesamiento se obtuvieron los siguientes datos: durante el primer periodo (mes de octubre) las transmitancias entre especies fueron muy similares, con 14% para el Ramón, 16% Roble, Tamarindo 17% y 25% Maculis, cabe recalcar el hecho de que éste último (Maculis), es la especie caducifolia y su estructura presenta un ramaje más disperso con menos follaje, esto a pesar de que se seleccionaron los ejemplares con las características más similares, presentes en el polígono de estudio.

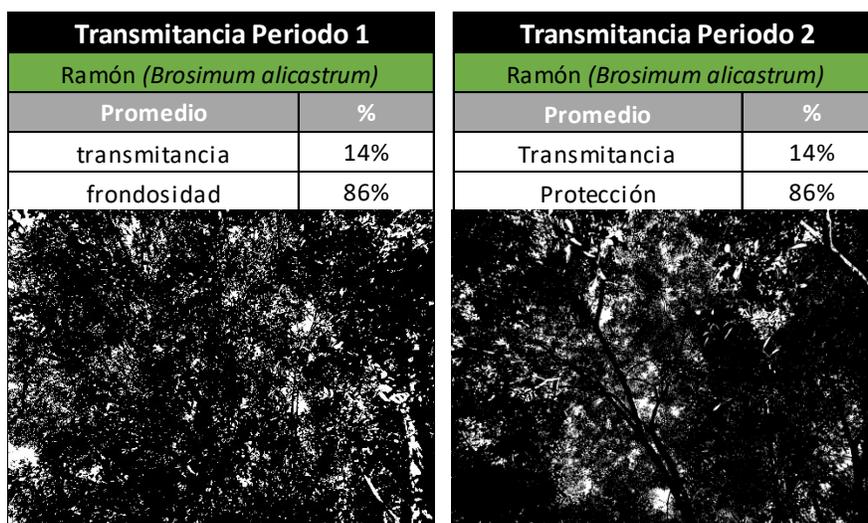


Figura 22. Variaciones de fronda en la especie Ramón para el periodo 1 y 2.

Fuente: Elaboración propia.

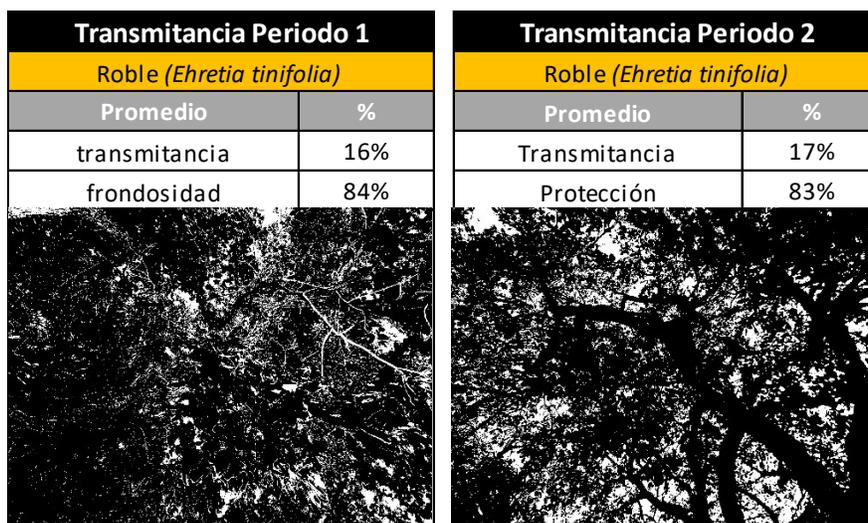


Figura 23. Variaciones de fronda en la especie Roble para el periodo 1 y 2.

Fuente: Elaboración propia.

Las especies perennifolias mantuvieron su follaje, como era de esperarse durante el segundo periodo con respecto al periodo anterior, en el caso del ramón no hubo variación alguna de transmitancia, mientras que en el caso del roble la diferencia fue tan sola del 1%. Contrario a lo previsto el tamarindo presentó una

variación de transmitancia de 11% pasando de 17% durante el mes de octubre a 28% durante el mes de abril, esto pudo deberse a factores del entorno como estrés hídrico o falta de nutrientes, ya que en 2 de los ejemplares hubo variación mientras que los otros 2 mantuvieron su follaje respecto al periodo anterior.

En el caso del Maculis es donde resulta más evidente la pérdida de follaje, pasando de una transmitancia de 25% durante el mes de octubre a 37% durante el mes de abril, más adelante se presenta el análisis correlacional entre las transmitancias y los ambientes térmicos bajo las especies evaluadas.

Transmitancia Periodo 1		Transmitancia Periodo 2	
Tamarindo ( <i>Tamarindus indica</i> )		Tamarindo ( <i>Tamarindis indica</i> )	
Promedio	%	Promedio	%
transmitancia	17%	Transmitancia	28%
frondosidad	83%	Protección	72%




Figura 24. Variaciones de fronda en la especie Tamarindo para el periodo 1 y 2.

Fuente: Elaboración propia.

Transmitancia Periodo 1		Transmitancia Periodo 2	
Maculis ( <i>Tabebuia Rosea</i> )		Maculis ( <i>Tabebuia Rosea</i> )	
Promedio	%	Promedio	%
transmitancia	25%	Transmitancia	37%
frondosidad	75%	Protección	63%
			

Figura 25. Variaciones de fronda en la especie Maculis para el periodo 1 y 2.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2 Evaluación de ambientes térmicos con índice de confort

A continuación, se presenta la evaluación de los ambientes térmicos con índice de confort, para lo cual se utilizó la herramienta digital desarrollada por la Universidad de Berkeley, California; la cual consiste en una calculadora de índices de confort que permite evaluar ambientes térmicos a partir de ciertas variables, esta herramienta calcula los índices PMV (Voto Medio Previsto), SET (Temperatura Efectiva Estándar) y PPD (Porcentaje Previsto de Insatisfacción). Las variables involucradas en el cálculo son:

- Temperatura del aire ( $T_a$ )
- Temperatura radiante ( $T_r$ )
- Humedad relativa ( $H_r$ )
- Velocidad el aire ( $V_a$ )

Se consideran también los siguientes factores humanos:

- Índice metabólico ( $met$ )
- Nivel de arropamiento ( $Clo$ )

Para el cálculo de los índices de confort, se supuso un desgaste metabólico de 2.6 met producido por una caminata de 4.8km/h y un nivel de arropamiento de 0.57 clo que considera, ropa interior, pantalones, camisa de manga corta, calcetines y zapatos (AHSRAE 55-2017).

En esta sección se muestra en tablas las principales variables por periodo y la evaluación de los ambientes térmicos según los índices de confort PPD porcentaje de Insatisfacción y SET Temperatura efectiva estándar, percibida en °C. Los datos presentados corresponden a la medición del mediodía solar, ya que es el punto en que los rayos de sol se encuentran más verticales y uno de los horarios más críticos para el peatón.

#### **4.2.1 Resultados para el mes de octubre, periodo 1**

Durante el primer periodo de mediciones (octubre) como ya se mencionó Ramón, Roble y Tamarindo presentaron una transmitancia muy similar, en correspondencia las diferencias en temperatura del aire ( $\Delta T_a$ ) bajo el árbol con relación al espacio urbano al sol en el que se encontraban, fueron muy similares, éstas diferencias fueron de 1.7°C a 2.3°C.

Para el caso de la Temperatura radiante ( $T_r$ ) las diferencias fueron de 5.2°C a 11.8°C siendo el Maculis la especie con la diferencia más baja y el Ramón la especie con la diferencia más amplia, es decir que el Ramón fue la especie con mayor influencia en la  $T_r$  del ambiente térmico.

#### **Porcentaje de insatisfacción (PPD)**

En cuanto al índice de confort PPD, se presentó un rango de insatisfacción que va desde el 68% al 93% bajo la fronda de los árboles, mientras que en el ambiente urbano sin protección a la radiación solar los porcentajes de insatisfacción se encontraron entre el 99% y 100% para el horario del mediodía, por lo que la protección por la vegetación logró un mejoramiento del porcentaje de insatisfacción de entre 20 y 31%, esto durante este primer periodo en el cual las

temperaturas no son tan desfavorables como en el periodo cálido seco (abril y mayo).

### **Temperatura efectiva estándar (SET)**

El índice SET toma en cuenta las variables antes descritas para trasladar la temperatura del aire ( $T_a$ ), la temperatura radiante ( $T_r$ ) y la velocidad del viento ( $V_a$ ) a la sensación térmica que producen en su conjunto sobre el individuo, es decir que por ejemplo; para el mediodía durante el primer periodo en la zona de Paseo de Montejo se presentó una temperatura del aire ( $T_a$ ) de 35.9 y una temperatura radiante ( $T_r$ ) de 49.8°C, la sensación térmica se traduce en 37.6°C SET.

Durante este primer periodo (el cálido húmedo), las diferencias de SET entre el ambiente bajo el arbolado urbano y la calle sin protección a la radiación solar, fueron de entre 1.9°C en el caso de Maculis hasta 3.6°C para el Ramón.

Especie	Periodo 1			13:00 hrs	Coef. Corr.
	Ramón	Roble	Tamarindo	Maculis	
Transmitancia	14%	16%	17%	25%	
<b>Ta</b>	°C	°C	°C	°C	-0.8
Ta Sombra	33.6	34.2	33.2	34.2	
Ta Sol	35.9	36.5	35.0	35.8	
<b>Diferencia</b>	<b>2.3</b>	<b>2.3</b>	<b>1.8</b>	<b>1.7</b>	
<b>Tr</b>	°C	°C	°C	°C	-0.8
Tr Sombra	38.0	40.2	37.8	43.3	
Tr Sol	49.8	47.7	49.9	48.5	
<b>Diferencia</b>	<b>11.8</b>	<b>7.6</b>	<b>12.2</b>	<b>5.2</b>	
<b>PPD</b>	%	%	%	%	-0.9
PPD Sombra	73%	80%	68%	93%	
PPD Sol	100%	100%	99%	99%	
<b>Diferencia</b>	<b>27%</b>	<b>20%</b>	<b>31%</b>	<b>6%</b>	
<b>SET</b>	°C	°C	°C	°C	-1.0
SET Sombra	34	34.3	33.7	35.2	
SET Sol	37.6	37.6	37.1	37.1	
<b>Diferencia</b>	<b>3.6</b>	<b>3.3</b>	<b>3.4</b>	<b>1.9</b>	

Tabla 17. Variables más representativas y evaluación de los ambientes térmicos con índice de confort para el periodo 1.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.2 Resultados para el mes de abril, periodo 2

Durante el segundo periodo de mediciones (abril) las diferencias de temperatura del aire entre los ambientes bajo y fuera del arbolado fueron de 1.6°C a 2.3°C, valores similares al periodo anterior. Sin embargo, para la temperatura radiante (Tr) se registraron temperaturas mucho más elevadas durante el segundo periodo, lo que se reflejó en diferencias más amplias que fueron de los 10.5°C a los 26.8°C, la primera registrada entre el Maculis y su entorno inmediato y la segunda en el Ramón.

Especie	Periodo 2			13:00 hrs	Coef. Corr.
	Ramón	Roble	Tamarindo	Maculis	
Transmitancia	14%	17%	28%	37%	
<b>Ta</b>	°C	°C	°C	°C	-0.8
Ta Sombra	36.2	35.8	36.1	36.1	
Ta Sol	38.5	38.1	38.4	37.7	
<b>Diferencia</b>	<b>2.3</b>	<b>2.3</b>	<b>2.3</b>	<b>1.6</b>	
<b>Tr</b>	°C	°C	°C	°C	-1.0
Tr Sombra	41.9	38.9	50.0	50.0	
Tr Sol	68.7	59.2	66.6	60.5	
<b>Diferencia</b>	<b>26.8</b>	<b>20.3</b>	<b>16.6</b>	<b>10.5</b>	
<b>PPD</b>	%	%	%	%	-0.9
PPD Sombra	80%	80%	97%	97%	
PPD Sol	100%	100%	100%	100%	
<b>Diferencia</b>	<b>20%</b>	<b>20%</b>	<b>3%</b>	<b>3%</b>	
<b>SET</b>	°C	°C	°C	°C	-0.8
SET Sombra	33.8	33.9	35.2	35.3	
SET Sol	40.0	37.7	39.0	37.9	
<b>Diferencia</b>	<b>6.2</b>	<b>3.8</b>	<b>3.8</b>	<b>2.6</b>	

Tabla 18. Variables más representativas y evaluación de los ambientes térmicos con índice de confort para el periodo 2.

Fuente: Elaboración propia.

### Porcentaje de insatisfacción (PPD)

En cuanto al índice de confort PPD, se presentó un rango de insatisfacción del 80% al 93% bajo la fronda de los árboles, mientras que en el ambiente urbano sin protección a la radiación solar los porcentajes de insatisfacción se encontraron en 100% para las 3 zonas de estudio en el horario de mediodía, por lo que la protección por la vegetación logró un mejoramiento del porcentaje de insatisfacción de 20% en el horario más crítico, a pesar de ser un mejoramiento significativo esto se traduce en que el 80% de personas continuarían en situación de inconfort, lo cual sigue siendo un porcentaje elevado.

### **Temperatura efectiva estándar (SET)**

Los valores de SET fueron más significativos en este segundo periodo (abril), ya que mientras las temperaturas SET bajo sombra se encontraron entre los 33.8°C y los 35.3°C, en el ambiente urbano sin protección solar se registraron entre 37.7°C y 40°C, esto nos marca diferencias de hasta 6.2°C de mejoramiento del ambiente térmico bajo el árbol respecto a la calle.

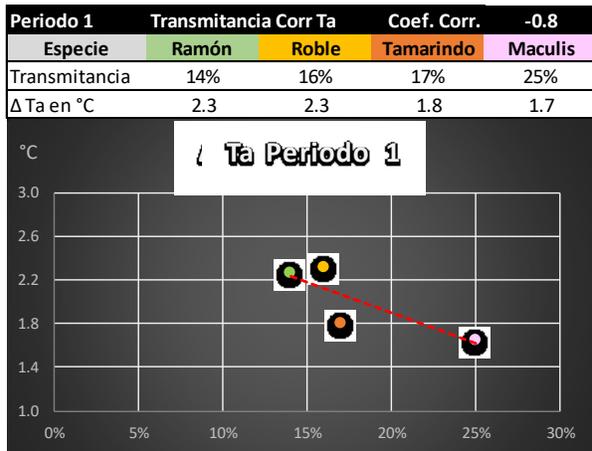
### **4.3 Análisis de correlación transmitancia - ambiente térmico**

Si bien ya se estableció cierta relación entre la transmitancia y los ambientes térmicos bajo los árboles, a fin de validar tales resultados se presenta el análisis por coeficiente de correlación estadístico de Pearson, el cual se emplea regularmente para mostrar si existe una medida lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas, la cual es independiente de la escala de medida de las variables. Esta fórmula permite conocer el grado de relación entre dos variables siempre y cuando ambas sean cuantitativas y continuas. A partir de ello, se presentan también los gráficos que ilustran el grado de correlación entre las variables, así como la línea de tendencia.

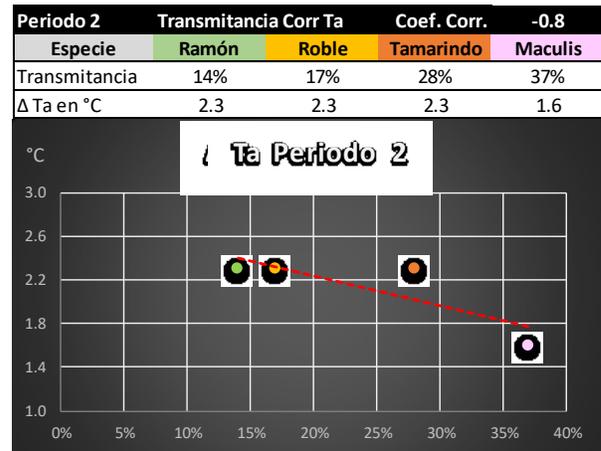
#### **4.3.1 Coeficientes de correlación por periodo**

##### **Transmitancia correlación Temperatura del aire**

El coeficiente de correlación para la transmitancia y temperatura del aire, fue de -0.8 para ambos periodos, por lo que se establece que existe una relación negativa directa entre ambas variables, es decir al aumentar la transmitancia de las especies el efecto del árbol sobre la  $T_a$  disminuye. Como se mencionó en el análisis de la variabilidad de  $T_a$  entre periodo 1 y dos, las diferencias de temperatura del aire son muy similares para ambos periodos.



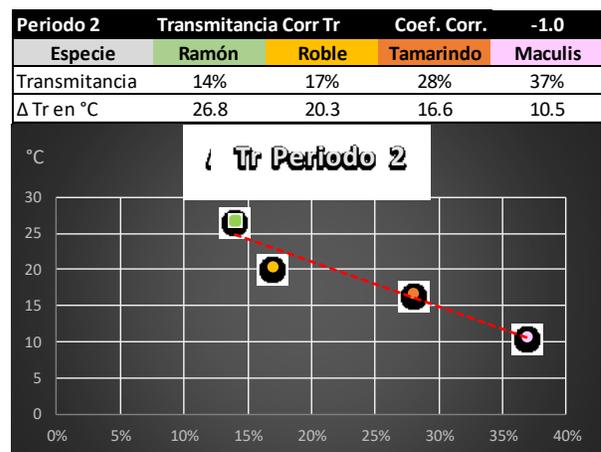
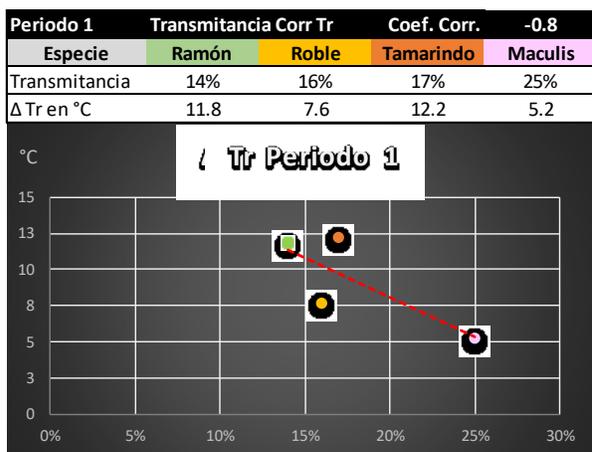
Gráfica 3. Correlación Transmitancia vs  $\Delta Ta$  para el mes de octubre, periodo 1. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 4. Correlación Transmitancia vs  $\Delta Ta$  para el mes de abril, periodo 2. Fuente: Elaboración propia.

### Transmitancia correlación Temperatura radiante

Respecto a la temperatura radiante ( $T_r$ ) el coeficiente de correlación Transmitancia vs  $T_r$  fue de -0.8 para el periodo 1 (octubre) y de -1.0 para el periodo 2 (abril), lo que indica que entre mayor es la transmitancia (menos follaje) menor es la diferencia de la  $T_r$  en relación ambiente bajo el árbol y ambiente sin presencia de vegetación

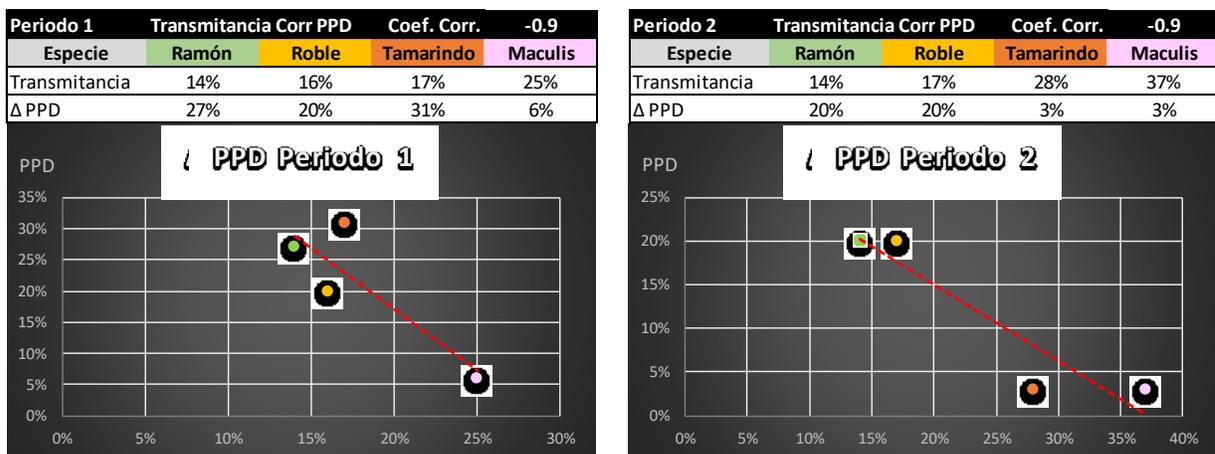


Gráfica 5. Correlación Transmitancia vs  $\Delta Tr$  para el mes de octubre, periodo 1. Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 6. Correlación Transmitancia vs  $\Delta Tr$  para el mes de abril, periodo 2. Fuente: Elaboración propia.

### Transmitancia correlación PPD

Ahora bien, en relación a los índices de confort empleados para la evaluación de los ambientes térmicos, el coeficiente de correlación Transmitancia vs PPD (porcentaje de insatisfacción) fue de -0.8 para el periodo 1 y de -1.0 para el periodo 2, al igual que con la variable anterior, a mayor transmitancia menor es la capacidad del árbol para mejorar la sensación térmica del peatón o usuario del espacio urbano.



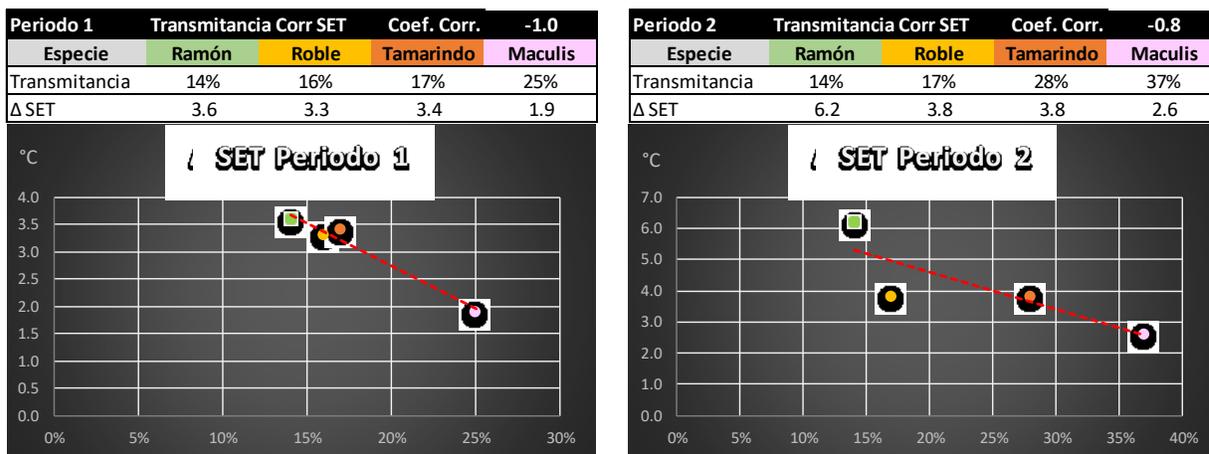
Gráfica 7. Correlación Transmitancia vs  $\Delta PDD$  para el mes de octubre, periodo 1. Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 8. Correlación Transmitancia vs  $\Delta PDD$  para el mes de abril, periodo 2. Fuente: Elaboración propia

### Transmitancia correlación SET

El coeficiente de correlación Transmitancia vs SET (temperatura efectiva percibida) fue de -1.0 para el periodo 1 y de -0.8 para el periodo 2, por lo que se observa que la transmitancia resulta ser un factor determinante en el ambiente

térmico que se presenta debajo del árbol, otro hallazgo interesante del experimento es el hecho de que a pesar que las temperaturas del segundo periodo fueron más altas, la diferencia en grados de la sensación térmica bajo el árbol también fue mayor, como se observa en los gráficos, siendo la  $\Delta SET$  más alta para el periodo 1 (cálido húmedo) de  $3.6^{\circ}\text{C}$  y para el periodo 2 (cálido seco) de  $6.2^{\circ}\text{C}$ , ambas bajo el Ramón.



Gráfica 9. Correlación Transmitancia vs  $\Delta PDD$  para el mes de octubre, periodo 1. Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 10. Correlación Transmitancia vs  $\Delta PDD$  para el mes de abril, periodo 2. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.2 Coeficientes de correlación por especie arbórea

Si bien se estableció la relación entre el ambiente térmico y la transmitancia, queda la interrogante ¿es la transmitancia el factor más determinante en la correlación entre el ambiente térmico urbano y el microclima bajo los árboles? O ¿Influyen los aspectos particulares de cada especie y espécimen en el ambiente térmico resultante bajo la fronda de los árboles? Si bien la muestra analizada es acotada, a fin de aproximarnos a una respuesta de las interrogantes planteadas se presentan a continuación las correlaciones particulares de cada espécimen por especie, entre su transmitancia y ambiente térmico.

### Ramón (*Brosimum alicastrum*)

Esta especie durante el periodo uno (octubre) presentó diferencias entre la temperatura del aire bajo su fronda y el ambiente urbano de entre 1.8°C y 2.9°C mientras que en el periodo dos (abril) las diferencias fueron de entre 1.7°C hasta 3.4°C. En cuanto a la temperatura radiante el primer periodo se registraron diferencias entre 7.9°C y 14.4°C, en el segundo periodo se presentaron temperaturas mucho más elevadas con diferencias más amplias, estas fueron de 22.6°C a 31.2°C.

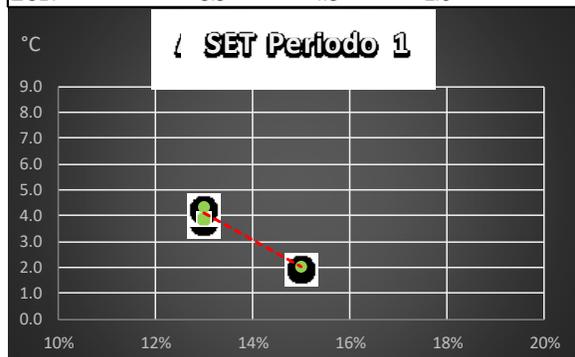
Con relación a los índices de confort, para el PPD en el periodo uno a la sombra el porcentaje de insatisfacción varió de 66% a 82%, durante el segundo periodo el PPD fue de 78% a 86% presentándose mayores diferencias porcentuales en el primer periodo respecto al segundo. Para la temperatura efectiva estándar (SET) se registraron diferencias de 2°C a 4.3°C mientras que en el segundo periodo estas diferencias fueron de 3.8°C hasta 7.2°C.

Periodo 1					13:00 hrs	Periodo 2						13:00 hrs
Ramón	01	02	03	Coef Corr.		Ramón	01	02	03	04	Coef Corr.	
Transmitancia	13%	13%	15%			Transmitancia	16%	16%	14%	12%		
<b>Ta</b>	°C	°C	°C	-0.7		<b>Ta</b>	°C	°C	°C	°C	-1.0	
Ta Sombra	33.0	33.5	34.4			Ta Sombra	34.5	36.7	36.0	37.7		
Ta Sol	35.9	35.6	36.2			Ta Sol	36.2	38.2	38.6	41.1		
<b>Diferencia</b>	<b>2.9</b>	<b>2.1</b>	<b>1.8</b>			<b>Diferencia</b>	<b>1.7</b>	<b>1.5</b>	<b>2.6</b>	<b>3.4</b>		
<b>Tr</b>	°C	°C	°C	-1.0		<b>Tr</b>	°C	°C	°C	°C	-0.9	
Tr Sombra	35.5	37.5	41.0			Tr Sombra	44.2	42.3	39.7	41.3		
Tr Sol	48.6	51.9	48.9			Tr Sol	66.8	65.3	70.0	72.5		
<b>Diferencia</b>	<b>13.1</b>	<b>14.4</b>	<b>7.9</b>			<b>Diferencia</b>	<b>22.6</b>	<b>23.1</b>	<b>30.3</b>	<b>31.2</b>		
<b>PPD</b>	%	%	%	-1.0		<b>PPD</b>	%	%	%	%	-0.6	
PPD Sombra	66%	70%	82%			PPD Sombra	87%	86%	78%	83%		
PPD Sol	100%	100%	99%			PPD Sol	100%	100%	100%	100%		
<b>Diferencia</b>	<b>34%</b>	<b>30%</b>	<b>17%</b>			<b>Diferencia</b>	<b>13%</b>	<b>14%</b>	<b>22%</b>	<b>17%</b>		
<b>SET</b>	°C	°C	°C	-1.0		<b>SET</b>				°C	-0.9	
SET Sombra	33.7	33.9	34.1			SET Sombra	34.3	34.2	33.8	34.1		
SET Sol	37.6	38.2	36.1			SET Sol	38.1	38.1	41.0	41.1		
<b>Diferencia</b>	<b>3.9</b>	<b>4.3</b>	<b>2.0</b>			<b>Diferencia</b>	<b>3.8</b>	<b>3.9</b>	<b>7.2</b>	<b>7.0</b>		

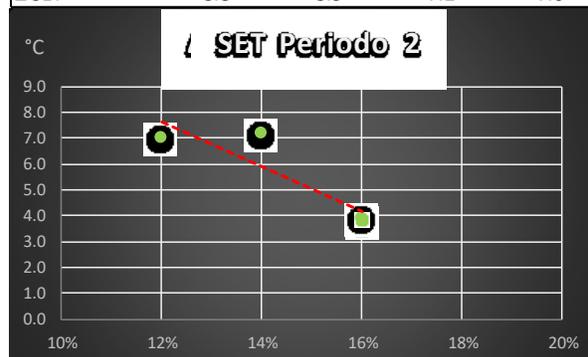
Tabla 19. Correlaciones de los ejemplares de Ramón con el ambiente térmico urbano e índices de confort para el periodo 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los coeficientes de correlación, para el primer periodo se encontraron coeficientes de -0.7 y -1, donde en relación a la escala de Pearson a partir de -0.5 se considera una correlación directa y -1 correlación absoluta.

Periodo 1	Transmitancia Corr SET		Coef. Corr.	-1.0
Ramón	01	02	03	
Transmitancia	13%	13%	15%	
Δ SET	3.9	4.3	2.0	



Periodo 2	Transmitancia Corr SET		Coef. Corr.	-0.9
Ramón	01	02	03	04
Transmitancia	16%	16%	14%	12%
Δ SET	3.8	3.9	7.2	7.0



Gráfica 11. Puntos de correlación y línea de tendencia para los ejemplares de la especie Ramón, correlación transmitancia-SET para el mes de octubre, periodo 1. Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 12. Puntos de correlación y línea de tendencia para los ejemplares de la especie Ramón, correlación transmitancia-SET para el mes de octubre, periodo 2. Fuente: Elaboración propia.

### Roble (*Ehretia tinifolia*)

El roble presentó durante el primer periodo diferencias entre la temperatura del aire bajo su fronda y el ambiente urbano de 2.2°C y 2.5°C mientras que en el segundo periodo las diferencias fueron de entre 1.6°C hasta 4.1°C. En cuanto a la temperatura radiante el primer periodo se registró diferencias entre 6.6°C y 10.8°C. En el segundo periodo al igual que con la especie anterior, las diferencias fueron más amplias, en un rango de 7.7°C a 29.3°C.

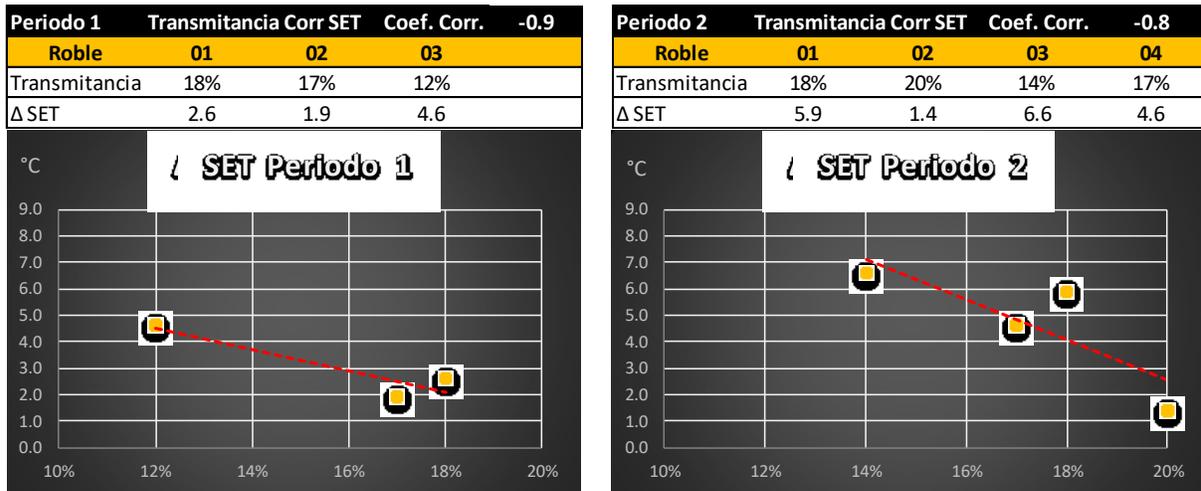
Respecto a los índices de confort, para el PPD en el periodo uno a la sombra el porcentaje de insatisfacción varió de 76% a 87%, durante el segundo periodo el PPD fue de 65% a 80% presentándose mayores diferencias porcentuales en el segundo periodo respecto al primero. Para la temperatura

efectiva estándar (SET) se registraron diferencias de 2.6°C a 4.6°C mientras que en el segundo periodo estas diferencias fueron de 1.4°C hasta 6.6°C.

Periodo 1					Periodo 2					
Roble	01	02	03	13:00 hrs Coef Corr.	Roble	01	02	03	04	13:00 hrs Coef Corr.
Transmitancia	18%	17%	12%		Transmitancia	18%	20%	14%	17%	
<b>Ta</b>	°C	°C	°C	-1.0	<b>Ta</b>	°C	°C	°C	°C	-0.9
Ta Sombra	33.7	33.7	35.3		Ta Sombra	36.5	35.0	35.4	36.2	
Ta Sol	35.9	35.9	37.8		Ta Sol	38.4	36.4	39.5	37.8	
<b>Diferencia</b>	<b>2.2</b>	<b>2.2</b>	<b>2.5</b>		<b>Diferencia</b>	<b>1.9</b>	<b>1.4</b>	<b>4.1</b>	<b>1.6</b>	
<b>Tr</b>	°C	°C	°C	-0.9	<b>Tr</b>	°C	°C	°C	°C	-0.8
Tr Sombra	39.4	41.0	40.1		Tr Sombra	40.9	33.8	37.6	43.2	
Tr Sol	46.0	46.3	50.9		Tr Sol	67.9	41.5	66.9	60.3	
<b>Diferencia</b>	<b>6.6</b>	<b>5.3</b>	<b>10.8</b>		<b>Diferencia</b>	<b>27.0</b>	<b>7.7</b>	<b>29.3</b>	<b>17.1</b>	
<b>PPD</b>	%	%	%	-1.0	<b>PPD</b>	%	%	%	%	-1.0
PPD Sombra	87%	81%	76%		PPD Sombra	80%	62%	75%	79%	
PPD Sol	99%	98%	100%		PPD Sol	100%	81%	100%	100%	
<b>Diferencia</b>	<b>12%</b>	<b>17%</b>	<b>24%</b>		<b>Diferencia</b>	<b>20%</b>	<b>19%</b>	<b>25%</b>	<b>21%</b>	
<b>SET</b>	°C	°C	°C	-0.9	<b>SET</b>	°C	°C	°C	°C	-0.8
SET Sombra	34.7	34.6	33.9		SET Sombra	33.4	32.2	34.1	33.9	
SET Sol	37.3	36.5	38.5		SET Sol	39.3	33.6	40.7	38.5	
<b>Diferencia</b>	<b>2.6</b>	<b>1.9</b>	<b>4.6</b>		<b>Diferencia</b>	<b>5.9</b>	<b>1.4</b>	<b>6.6</b>	<b>4.6</b>	

Tabla 20. Correlaciones de los ejemplares de Roble con el ambiente térmico urbano e índices de confort para el periodo 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.

Los coeficientes de correlación para el primer periodo fueron de -0.9 y -1 y para el segundo, de -0.8 y -1, mostrando una clara relación entre la transmitancia y las variables e índices.



Gráfica 13. Puntos de correlación y línea de tendencia para los ejemplares de la especie Tamarindo, correlación transmitancia-SET para el mes de octubre, periodo 1. Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 14. Puntos de correlación y línea de tendencia para los ejemplares de la especie Tamarindo, correlación transmitancia-SET para el mes de abril, periodo 2. Fuente: Elaboración propia.

### Tamarindo (*Tamarindus indica*)

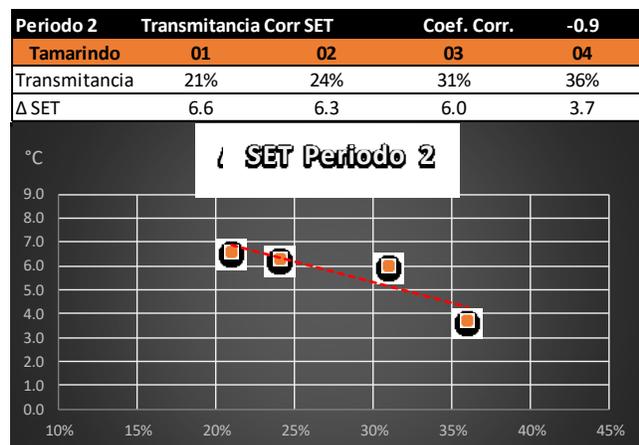
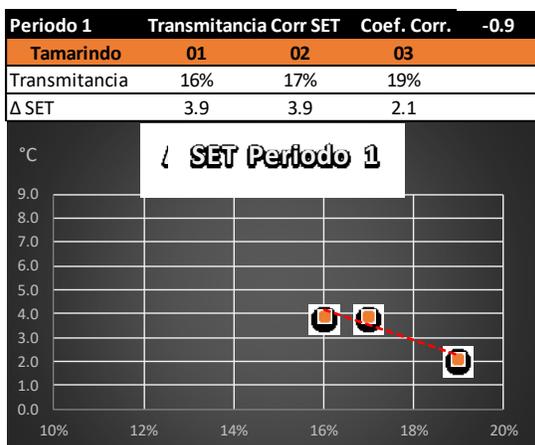
En los ejemplares de Tamarindo, se presentaron diferencias de temperatura del aire bajo su fronda versus el ambiente urbano de 1.1°C y 2.5°C mientras que en el segundo periodo las diferencias fueron de entre 1.1°C hasta 2.7°C. En cuanto a la temperatura radiante en el primer periodo, se registró diferencias entre 9.9°C y 1.3.7°C. En el segundo estas diferencias fueron de entre 16.8°C hasta los 33.7°C.

Respecto a los índices de confort, para el PPD en el periodo uno a la sombra el porcentaje de insatisfacción varió de 65% a 76%, durante el segundo periodo el PPD fue de 74% a 86% presentándose mayores diferencias porcentuales en el segundo periodo respecto al primero, al igual que en la especie anterior (Roble). En cuanto a la temperatura efectiva estándar (SET) se registraron diferencias de 2.1°C y 3.9°C mientras que en el segundo periodo estas diferencias fueron de 3.7°C hasta 6.6°C.

Periodo 1					Periodo 2					
Tamarindo	01	02	03	Coef. Corr.	Tamarindo	01	02	03	04	Coef. Corr.
Transmitancia	16%	17%	19%		Transmitancia	21%	24%	31%	36%	
Ta	°C	°C	°C	-1.0	Ta	°C	°C	°C	°C	-0.9
Ta Sombra	32.7	33.0	33.8		Ta Sombra	35.5	35.7	36.1	37.2	
Ta Sol	35.2	34.9	34.9		Ta Sol	38.2	38.4	38.6	38.4	
Diferencia	2.5	1.9	1.1		Diferencia	2.7	2.7	2.5	1.2	
Tr	°C	°C	°C	-1.0	Tr	°C	°C	°C	°C	-0.9
Tr Sombra	35.8	39.2	38.3		Tr Sombra	45.3	35.7	38.6	42.3	
Tr Sol	49.5	52.1	48.2		Tr Sol	73.9	69.4	64.0	59.1	
Diferencia	13.7	12.9	9.9		Diferencia	28.6	33.7	25.4	16.8	
PPD	%	%	%	-1.0	PPD	%	%	%	%	-0.7
PPD Sombra	65%	70%	76%		PPD Sombra	77%	70%	74%	86%	
PPD Sol	100%	100%	98%		PPD Sol	100%	100%	100%	100%	
Diferencia	35%	30%	22%		Diferencia	23%	30%	26%	14%	
SET	°C	°C	°C	-0.9	SET	°C	°C	°C	°C	-0.9
SET Sombra	33.7	33.8	34.1		SET Sombra	33.6	32.8	33.6	34.5	
SET Sol	37.6	37.7	36.2		SET Sol	40.2	39.1	39.6	38.2	
Diferencia	3.9	3.9	2.1		Diferencia	6.6	6.3	6.0	3.7	

Tabla 21. Correlaciones de los ejemplares de Tamarindo con el ambiente térmico urbano e índices de confort para el periodo 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.

Los coeficientes de correlación para el primer periodo fueron de -0.9 y -1 y para el segundo, de -0.7 y -0.9.



Gráfica 15. Puntos de correlación y línea de tendencia para los ejemplares de la especie Tamarindo, correlación transmitancia-SET para el periodo 1. Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 16. Puntos de correlación y línea de tendencia para los ejemplares de la especie Tamarindo, correlación transmitancia-SET para el periodo 2. Fuente: Elaboración propia.

### Maculis (*Tabebuia Rosea*)

En los ejemplares de Maculis, se presentaron diferencias de temperatura del aire ( $T_a$ ) de  $1.3^{\circ}\text{C}$  a  $2.2^{\circ}\text{C}$  en el primer periodo de mediciones, mientras que en el segundo periodo las diferencias fueron de  $1.1^{\circ}\text{C}$  a  $2.2^{\circ}\text{C}$ . En cuanto a la temperatura radiante ( $T_r$ ) el primer periodo registró diferencias de  $2.9^{\circ}\text{C}$  a  $7.4^{\circ}\text{C}$ . En el segundo estas diferencias fueron de  $3.1^{\circ}\text{C}$  hasta  $26.6^{\circ}\text{C}$ .

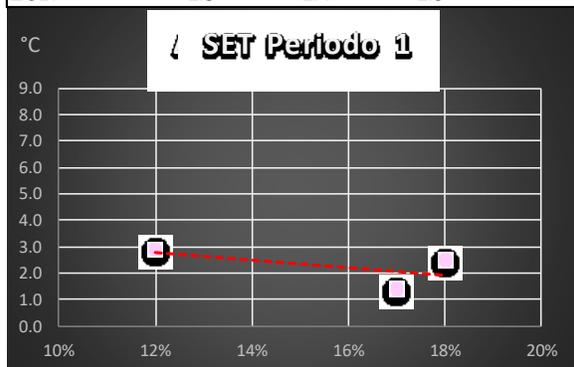
El índice de confort PPD en el periodo uno a la sombra presentó un porcentaje de insatisfacción de 70% a 98%, durante el segundo periodo el PPD fue de 72% a 100% presentando en ambos casos 28% de diferencia en la variación más amplia. Respecto a la temperatura efectiva estándar (SET) se registraron diferencias de  $1.4^{\circ}\text{C}$  a  $2.9^{\circ}\text{C}$  en el primer periodo, mientras que en el segundo estas diferencias fueron de  $1.4^{\circ}\text{C}$  hasta  $5.4^{\circ}\text{C}$ .

Periodo 1					Periodo 2					
Maculis	01	02	03	Coef Corr.	Maculis	01	02	03	04	Coef Corr.
Transmitancia	19%	34%	21%		Transmitancia	35%	39%	34%	42%	
<b>Ta</b>	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	-0.8	<b>Ta</b>	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	-0.8
Ta Sombra	33.9	34.8	33.8		Ta Sombra	34.3	37.2	37.6	35.3	
Ta Sol	36.1	36.1	35.3		Ta Sol	35.7	38.7	39.8	36.4	
<b>Diferencia</b>	<b>2.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.5</b>		<b>Diferencia</b>	<b>1.4</b>	<b>1.5</b>	<b>2.2</b>	<b>1.1</b>	
<b>Tr</b>	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	-0.8	<b>Tr</b>	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	-0.9
Tr Sombra	42.0	48.9	39.0		Tr Sombra	41.2	45.7	42.7	54.2	
Tr Sol	47.2	51.8	46.4		Tr Sol	67.8	51.0	65.9	57.3	
<b>Diferencia</b>	<b>5.2</b>	<b>2.9</b>	<b>7.4</b>		<b>Diferencia</b>	<b>26.6</b>	<b>5.3</b>	<b>23.2</b>	<b>3.1</b>	
<b>PPD</b>	%	%	%	-0.6	<b>PPD</b>	%	%	%	%	-0.8
PPD Sombra	90%	98%	70%		PPD Sombra	72%	96%	85%	100%	
PPD Sol	99%	100%	98%		PPD Sol	100%	100%	100%	100%	
<b>Diferencia</b>	<b>9%</b>	<b>2%</b>	<b>28%</b>		<b>Diferencia</b>	<b>28%</b>	<b>4%</b>	<b>15%</b>	<b>0%</b>	
<b>SET</b>	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	-0.9	<b>SET</b>	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	-0.8
SET Sombra	34.9	36.4	33.5		SET Sombra	33.2	34.2	35.1	36.8	
SET Sol	37.4	37.8	36.4		SET Sol	38.3	39.6	40.4	38.2	
<b>Diferencia</b>	<b>2.5</b>	<b>1.4</b>	<b>2.9</b>		<b>Diferencia</b>	<b>5.1</b>	<b>5.4</b>	<b>5.3</b>	<b>1.4</b>	

Tabla 22. Correlaciones de los ejemplares de Maculis con el ambiente térmico urbano e índices de confort para el periodo 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.

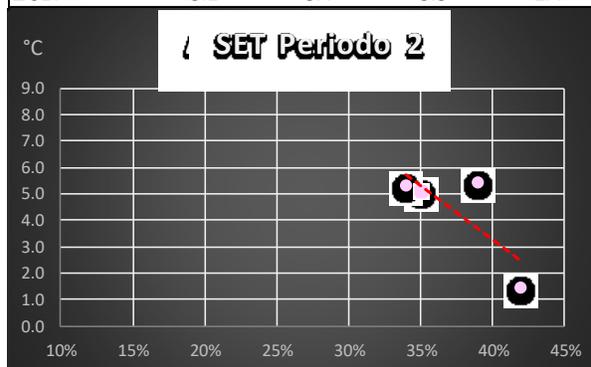
Las correlaciones obtenidas para el *Maculis* fueron, para el primer periodo de -0.6 a -0.9 y para el segundo, de -0.8 y -0.9.

Periodo 1	Transmitancia Corr Tr		Coef. Corr.	-0.6
Maculis	01	02	03	
Transmitancia	18%	17%	12%	
$\Delta$ SET	2.5	1.4	2.9	



Gráfica 17. Puntos de correlación y línea de tendencia para los ejemplares de la especie *Maculis*, correlación transmitancia-SET para el mes de octubre, periodo 1. Fuente: Elaboración propia.

Periodo 2	Transmitancia Corr Tr			Coef. Corr.	-0.8
Maculis	01	02	03	04	
Transmitancia	35%	39%	34%	42%	
$\Delta$ SET	5.1	5.4	5.3	1.4	



Gráfica 18. Puntos de correlación y línea de tendencia para los ejemplares de la especie *Maculis*, correlación transmitancia-SET para el mes de abril, periodo 2. Fuente: Elaboración propia.

En los ejemplares de esta especie fue donde se encontraron las correlaciones más débiles entre la transmitancia y el ambiente térmico urbano, por lo que valdría la pena profundizar en el estudio de las especies caducifolias, a fin de establecer de manera más clara la correlación, refutarla o identificar los factores particulares de los ambientes debajo de especies que pierden parte de su follaje.

## CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones a partir del análisis e interpretación de los resultados mostrados en el capítulo anterior. Dichas conclusiones en correspondencia con los objetivos particulares y la hipótesis de investigación, se presentan: en relación al efecto del arbolado urbano en las variables del ambiente térmico, sobre la correlación entre la transmitancia (cobertura de copa) del arbolado y los ambientes térmicos bajo los mismos, así como recomendaciones planteadas a partir de los resultados de investigación para la selección de árboles urbanos en función del acondicionamiento térmico de trayectos peatonales para las calles de la ciudad de Mérida, por último se plantean consideraciones finales donde se reflexiona sobre las limitantes de la investigación y áreas de oportunidad identificadas, se plantean nuevas directrices y aproximaciones sobre el confort térmico urbano y la vegetación como recurso bioclimático en el ámbito local.

### **5.1 Conclusiones sobre las variaciones del ambiente térmico por el arbolado urbano**

La variable del ambiente térmico sobre la que mayor efecto tiene el arbolado urbano es sin duda sobre la radiación solar, para lo cual la cobertura de copa juega un papel fundamental en la obstrucción de esta, tal como se observó en los resultados. La temperatura radiante resultó significativamente más alta en el ambiente urbano sin protección solar que en condición de sombra, debajo de la copa de los árboles las condiciones fueron más favorables durante los dos periodos; se registró un incremento considerable de  $T_r$  en el periodo cálido seco en relación al periodo cálido húmedo en los ambientes sin protección solar, en condiciones bajo sombra de la copa de los árboles a pesar de que si hubo incremento de  $T_r$  entre el primer y el segundo periodo, no fue tan significativo,

como el incremento entre primer y segundo periodo ambientes sin protección solar.

La segunda variable en la que la cobertura del arbolado influye, es la temperatura del aire, mejorando poco más de 3°C las condiciones durante el periodo cálido húmedo, y con un mejoramiento mucho más evidente durante el periodo cálido seco, más de 7°C. Esto pone a discusión los resultados obtenidos en otras investigaciones en otras latitudes, donde se plantea que la circulación convectiva del aire minimiza el efecto del arbolado sobre la temperatura del aire a nivel microclimático (Erell, E. 2011. P.197).

Respecto a la velocidad del viento, las variaciones por efecto de la vegetación no fueron tan significativas, por lo que se interpreta a partir de los resultados obtenidos, que tienen mayor influencia en la velocidad del viento factores como la temporada estacional, la orientación del cañón urbano y la configuración de la estructura urbana.

En cuanto a la humedad relativa el efecto del arbolado es casi imperceptible en el periodo cálido húmedo, mientras que durante el periodo cálido seco si se eleva considerablemente la humedad del ambiente bajo el árbol, como se planteó en el capítulo anterior una posible hipótesis es el hecho de que la vegetación aumente su proceso evapotranspirativo para autorregular su temperatura en reacción a las condiciones climáticas adversas, esto se infiere también a partir del hecho que las especies que mantienen mejor su follaje es en las que se registraron mayores porcentajes de humedad.

## **5.2 Conclusiones sobre la correlación transmitancia, ambiente térmico y percepción de confort**

Si bien la muestra de estudio de esta investigación es limitada, por los alcances temporales e instrumentales de la misma, como para establecer

conclusiones más generales, si nos permite hacer aproximaciones al comportamiento de las especies estudiadas y a la relación entre la fronda de éstas y su efecto en la modificación del ambiente térmico que se produce bajo el árbol.

Al respecto de la correlación transmitancia-ambiente térmico, se encontraron correlaciones para ambos periodos, mayores a  $\pm 0.8$  por lo que se considera una correlación directa, por lo que se establece que si existe relación entre la transmitancia- ambiente térmico - confort térmico percibido.

En un segundo análisis correlacional se tomaron las variaciones de fronda de cada especie por periodo, lo que reafirma la correlación con la cantidad de follaje del árbol y se descarta que la correlación se deba a características particulares de la especie.

Otro aspecto interesante resultó de la evaluación de los ambientes térmicos con los índices de confort, si bien los ambientes evaluados en el segundo periodo presentaron un mejoramiento de las condiciones térmicas en el índice de confort SET mayor que los del primer periodo ( $6.2^{\circ}\text{C}$  versus  $3.6^{\circ}\text{C}$ ); al analizar los mismos ambientes con el índice PPD se presentaron porcentajes de insatisfacción mayores en el segundo periodo. De esto podemos concluir que entre más adversas son las condiciones térmicas del ambiente urbano, más evidente resulta el efecto del arbolado urbano en la mitigación de estas, y aunque no resulta suficiente para alcanzar el confort térmico, sobre todo si se toma en cuenta el desgaste metabólico por la actividad peatonal, hace más llevaderas las condiciones externas y favorece el uso de espacios al exterior.

### **5.3 Recomendaciones para la selección de arbolado urbano en función del acondicionamiento térmico de trayectos peatonales**

A partir de los resultados de la presente investigación resulta pertinente hacer recomendaciones para la selección del arbolado urbano, no sólo por sus beneficios ambientales y ecosistémicos, sino que consideren también por su

relevancia como recurso para modificar favorablemente el ambiente térmico de la calle, si no para brindar protección continua al peatón a la radiación solar, lo cual resultaría sumamente benéfico para la movilidad peatonal, por lo menos de manera aislada para crear puntos de refugio en el espacio urbano ante condiciones térmicas adversas.

Si bien las políticas públicas actuales para la ciudad de Mérida buscan mejorar las condiciones del arbolado urbano y en el planteamiento se habla de que a través de ello se busca mejorar las condiciones térmicas, en la realidad no se están dando las condiciones a nivel normativo y de ejecución de la planeación urbana para generar vialidades que ofrezcan las condiciones para propiciar la movilidad sostenible (peatonal y ciclista) así como tampoco se están brindando condiciones en las nuevas vialidades de espacio para implementar un arbolado urbano funcional que acompañe los trayectos peatonales, por lo menos en las vialidades primarias y de esta manera proteger al peatón de las altas temperaturas.

Al respecto de la selección de especies para su uso específico en las vialidades, y en particular en aceras y camellones como recurso bioclimático es indispensable la elección de especies perennifolias, además de las recomendaciones oficiales actuales, tales como:

...El crecimiento, estructura y tipo de raíz de la especie, posibles conflictos con la infra y supra estructura urbana como pueden ser cables y tuberías.

...Las dimensiones del diámetro del tronco en etapa adulta, así como el diámetro y profundidad de la poceta, así como la relación de esta con el espacio funcional a fin de conservar el espacio necesario para la circulación peatonal.

Buscar el equilibrio en el diseño urbano, dándole prioridad a cada tipo de especie con relación a su función, es decir para trayectos peatonales preferir especies perennes que conserven su follaje durante la época de sequías, mientras que en aceras cuya proyección de sombra del paramento no requiera el mismo

grado de protección solar, se pueden utilizar especies perennes, buscando un equilibrio entre brindar refugio a la fauna local urbana y la protección al peatón.

#### **5.4 Consideraciones finales**

Algunas nuevas directrices y áreas de oportunidad tanto en el ámbito de la investigación como de la gestión, identificados son:

La implementación de la metodología para evaluar más especies de árboles, enfocándose en especies de menor tamaño que se puedan utilizar para arborizar vialidades existentes y/o evaluar de manera particular a las especies caducifolias.

Se abre también la discusión sobre los índices de confort, ya que otra laguna de conocimiento es el análisis de la percepción de confort de la población local mediante encuestas enfocado a los trayectos peatonales en el espacio urbano.

La posibilidad del uso de los datos cuantitativos de la investigación para simular el efecto del arbolado en un trayecto o vialidad completa mediante software especializado.

El análisis de la habitabilidad del espacio urbano en el periodo cálido seco y las implicaciones de tales condiciones en la salud del individuo.

Realización de catálogos y bases de datos de las características de la vegetación local para su implementación en espacios urbanos, es decir tomando en cuenta sus características de crecimiento, mantenimiento, floración, comportamiento del follaje, mejoramiento térmico etc.

La creación y diseño de un plan director del arbolado urbano, a partir de un equipo disciplinario con guías para la implementación de arbolado en nuevas vialidades y diagnóstico y posibles adecuaciones a las existentes.

Por último, otro aspecto interesante a desarrollar es la evaluación del efecto del arbolado en la propiedad privada, vivienda y/edificios en las condiciones térmicas y ahorro energético al interior de las construcciones.

## REFERENCIAS

- Abreu-Harbich, L. V., et al. (2015) *Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics*. Landscape Urban Plan. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.008>
- Álvarez Dominguez, S. (1992) *Confort climático en espacios abiertos: proyecto Expo'92*. Madrid: CIEMAT.
- Arreola Cruz, G. (2014) La importancia de hacer más caminables las ciudades latinoamericanas, en revista The review edición Latinoamérica, Edición digital
- ASHRAE. Estándar-55.(2005) *Condiciones térmicas ambientales para la ocupación humana*. P 2.
- Auliciems, A. Szokolay S. (1997). *PLEA Note 3: Thermal Comfort, PLEA NOTES* Queensland Brisbane.
- Borja, J. y Muxi, Z. (2003). *El espacio público: ciudad y ciudadanía*. Barcelona: Electa.
- Canto Cetina R. E. (2008) *Evaluación de las diferencias, características y alteraciones por factores urbanos de las condiciones térmicas de una Ciudad de clima Cálido Húmedo: la Ciudad de Mérida como caso de estudio*. Programa interinstitucional de Doctorado en Arquitectura.
- Cantón, M. A. (1994) *Evaluación energético – ambiental del bosque urbano: desarrollo y puesta a punto de un método de análisis*. Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales (LAHV-INCIHUSA) Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CRICYT) Mendoza, Argentina.
- Chab J., Laucirica G. (2010). *Especies vegetales para uso en el medio urbano*. Mérida, Yucatán. Alamilla
- Echave Martínez C. (2006). *La reconciliación de la escala urbana. Espacio de reflexión y comunicación en Desarrollo Sostenible* Año IV no. 15 Barcelona.

- Edith Arboit, M. (2015) *Permeabilidad del arbolado urbano a la radiación solar: Estudio de dos especies representativas en entornos urbanos de baja densidad del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina*. En Hábitat Sustentable, [S.I.]
- Erell E., Pearlmutter D., Williamson T. (2011). *Urban microclimate, designing the spaces between buildings*. Taylor and Francis, UK.
- Garriz, E. J., & Schroder, R. V. (2014). *Dimensiones del espacio público y su importancia en el ámbito urbano*. Revista Científica Guillermo de Ockham, 12(2), 25-30.
- Gehl J. (2004). *La vida social entre los edificios*. Barcelona: Reverté.
- *Gestión del arbolado viario de Barcelona* (2014). Ayuntamiento de Barcelona.
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. Wiley and sons.
- Gómez Lopera F. (2005). *Las zonas verdes como factor de calidad de vida en las ciudades*. Ciudad y territorio, Estudios Territoriales, XXXVII (144) Valencia España.
- Herce, Manuel. (2009) *Sobre la movilidad en la ciudad: propuestas para recuperar un derecho ciudadano*. Barcelona: Reverté. 321 pp.
- Hernández Sampieri, R (2006); Fernández Collado, C.; Baptista Lucio P.: *Metodología de la investigación*. México, D.F., Cuarta Edición. P. 850 McGraw-Hill Interamericana.
- Instituto Nacional de Bellas Artes. (1980). *El peatón en el uso de las ciudades*. México: SEP: INBA. 132 pp.
- *Inventario del arbolado urbano de la ciudad de Mérida* (2015). Ayuntamiento de Mérida 2015-2018
- López Ordóñez, c.; Roset Calzada, j.; Rojas Cotorreal, G. (2017). *Análisis de la radiación solar directa en las calles de Barcelona, en base a la relación entre su morfología y vegetación*. UPC Barcelona.

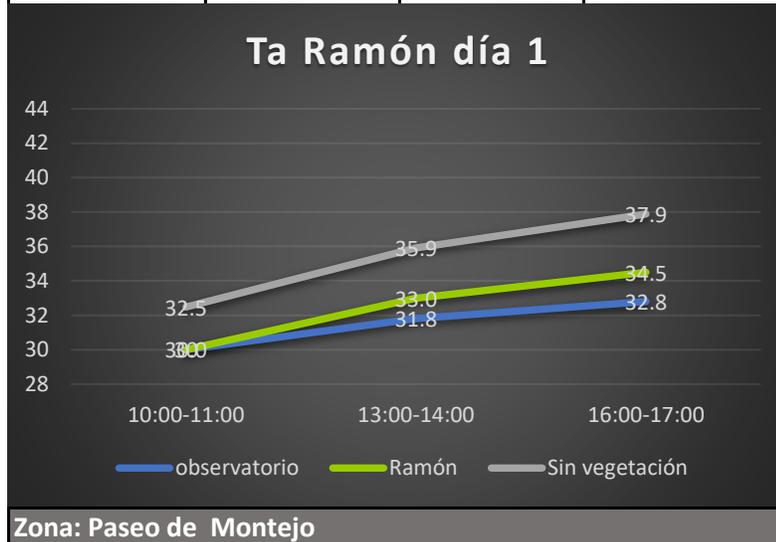
- Ng, E. (2010). *Designing high density cities, for social and environmental sustainability*. Earthscan London 2010.
- Ochoa de la Torre J. M. (1998) *La vegetación como instrumento para el control microclimático*. Tesis doctoral. Escola Tecnica Superior d'Arquitectura de Barcelona.
- Olgyay, V. (1998). *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Gustavo Gili, Barcelona.
- Orellana R., Carrillo L., Franco V. (2007) *Árboles recomendables para las ciudades de la península de Yucatán*. CICY.
- Pérez Herrera, M. (2011) *La movilidad en bicicleta como política pública*. Ciclociudades México.
- Pérez Medina S., López Falfán I. (2015) *Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán*. Hacia una sostenibilidad urbana, Economía, Sociedad y Territorio, vol. xv, núm. 47 México
- Plan director del arbolado de Barcelona (2017). Ayuntamiento de Barcelona
- Plan maestro municipal para la movilidad urbana sustentable. (2015) Ayuntamiento de Mérida 2015-2018.
- Plan municipal de infraestructura verde (2015). Ayuntamiento de Mérida 2015-2018.
- Rojas Cotorreal G. M. (2013) *La vegetación tropical en el confort climático urbano: Aplicado a Santo Domingo, República Dominicana en comparación con el clima mediterráneo, Barcelona, España*. UPC Barcelona
- Rojas Cotorreal G. M. (2015) *La vegetación en el confort micro climático. Comparación de especies del clima mediterráneo de Barcelona, España*. ACE: Architecture, City and Environment: Arquitectura, Ciudad y Entorno, 10 (29): 59-84, 2015.
- Rojas Cotorreal G. M. (2016) *Cuantificación de la mejora de las condiciones ambientales producida por el arbolado urbano*. UPC Barcelona.

- Rojas Cotorreal G. M. (2016) *El efecto del confort térmico producido por la especie arbórea almez en el espacio público*. En: ACE: Architecture, City and Environment: Arquitectura, Ciudad y Entorno, 11 (32): 187-202, 2016.
- Salvador Flores J., Tun Garrido J., Ortiz Díaz J., Kantún Balam J. (2010). *Plantas usadas en cercas vivas en la Península de Yucatán*. Conacyt
- Sashua-Bar, L. (2015) Microclimate modelling of street tree species effects with varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. En international Journal of Climatology Rmets
- Selección
- Sosa V. y Flores Guido J. (2014). *La flora ornamental de Mérida*. Ayuntamiento de Mérida 2012-2015. 2a Edición
- Tornero J., Pérez Cueva A., Gómez Lopera F. (2006). *Ciudad y confort ambiental, Estado de la cuestión y aportaciones recientes*. Cuadernos de Geografía Valencia.
- Torre Vázquez, M. I. (2010). *Espacio público y capital social*. México: Universidad de La Salle Bajío, P 45-46.
- García, E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México,

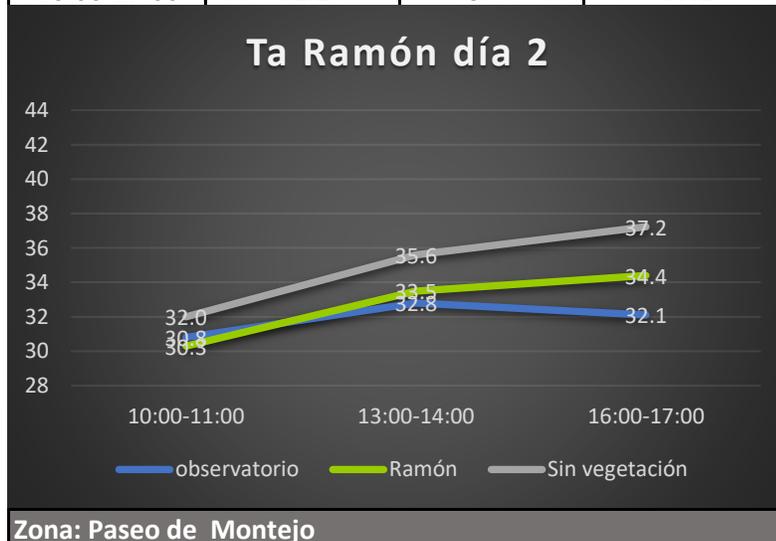
## **ANEXOS**

**Gráficas de temperatura del aire por día durante el periodo cálido húmedo (periodo (periodo 1).**

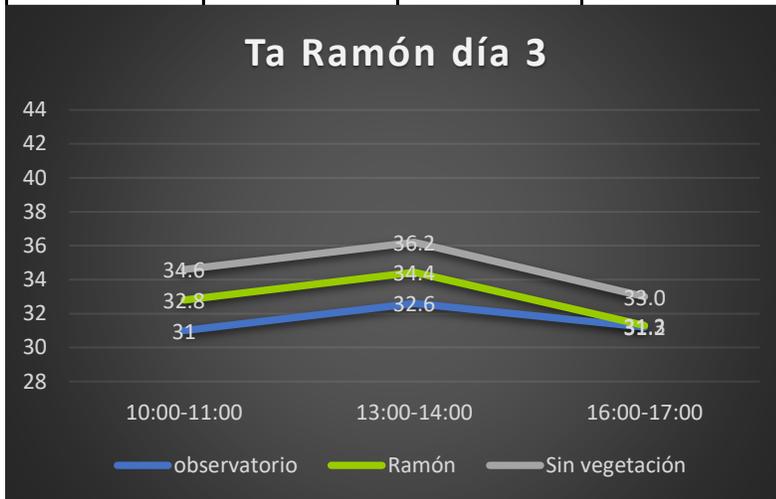
Ta	observatorio	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	30	30.0	32.5
13:00-14:00	31.8	33.0	35.9
16:00-17:00	32.8	34.5	37.9



Ta	observatorio	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	30.8	30.3	32.0
13:00-14:00	32.8	33.5	35.6
16:00-17:00	32.1	34.4	37.2

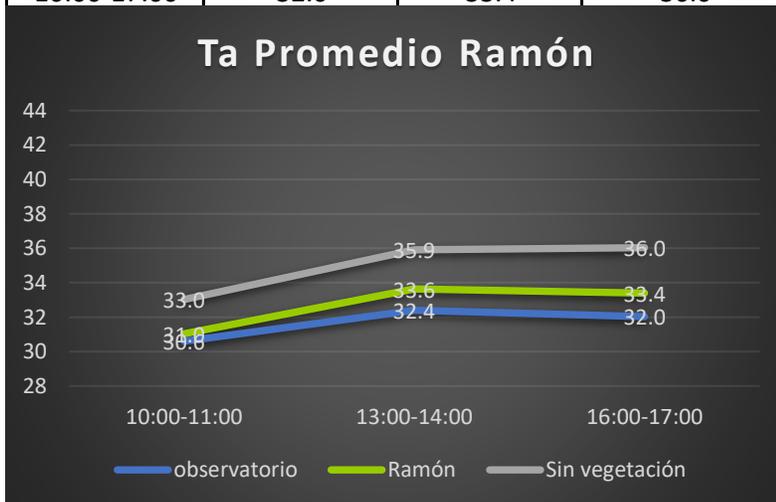


Ta	observatorio	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	31	32.8	34.6
13:00-14:00	32.6	34.4	36.2
16:00-17:00	31.2	31.3	33.0



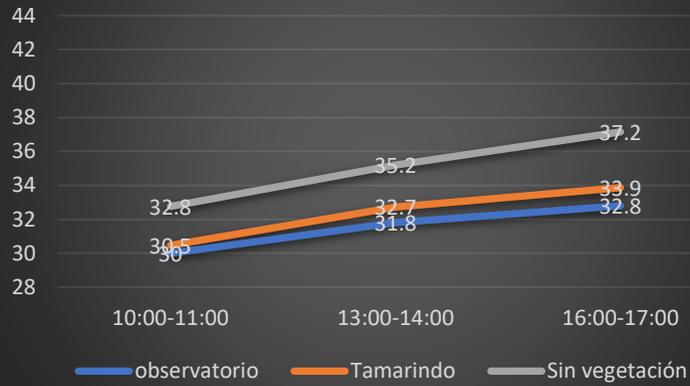
Zona: Paseo de Montejo

Ta	observatorio	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	30.6	31.0	33.0
13:00-14:00	32.4	33.6	35.9
16:00-17:00	32.0	33.4	36.0



Ta	observatorio	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	30	30.5	32.8
13:00-14:00	31.8	32.7	35.2
16:00-17:00	32.8	33.9	37.2

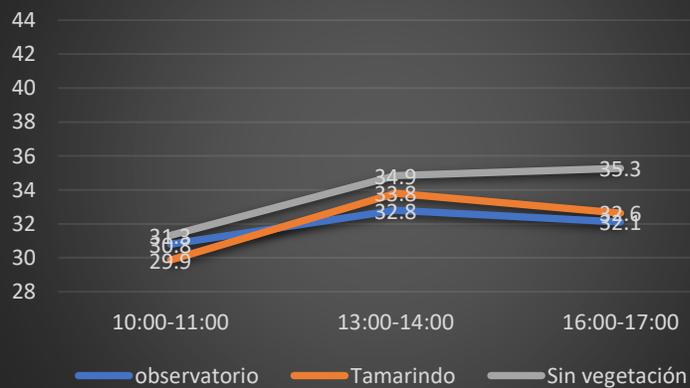
### Ta Tamarindo día 1



Zona: Paseo de Montejo

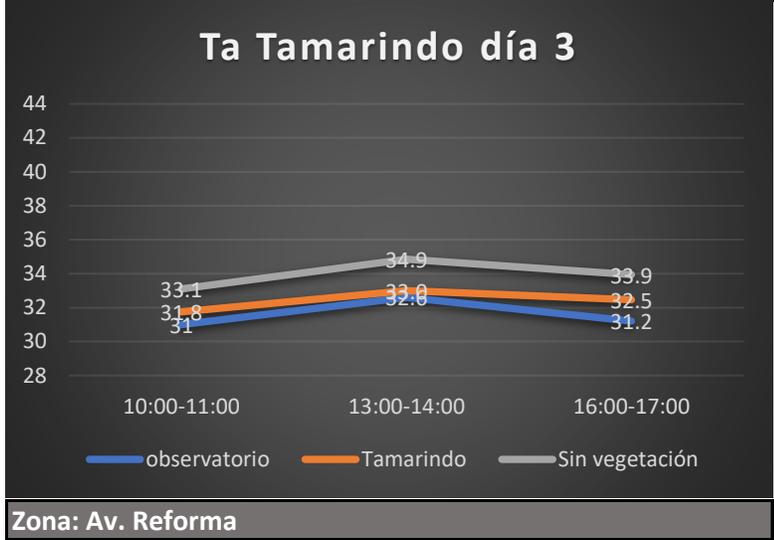
Ta	observatorio	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	30.8	29.9	31.3
13:00-14:00	32.8	33.8	34.9
16:00-17:00	32.1	32.6	35.3

### Ta Tamarindo día 2

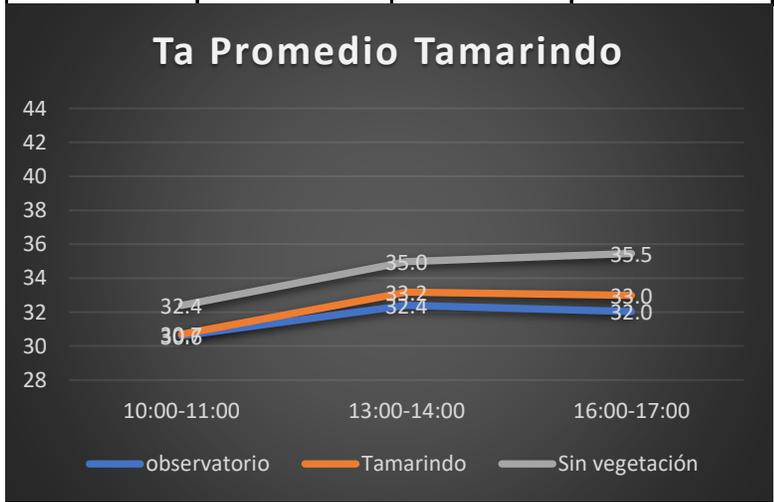


Zona: Paseo de Montejo

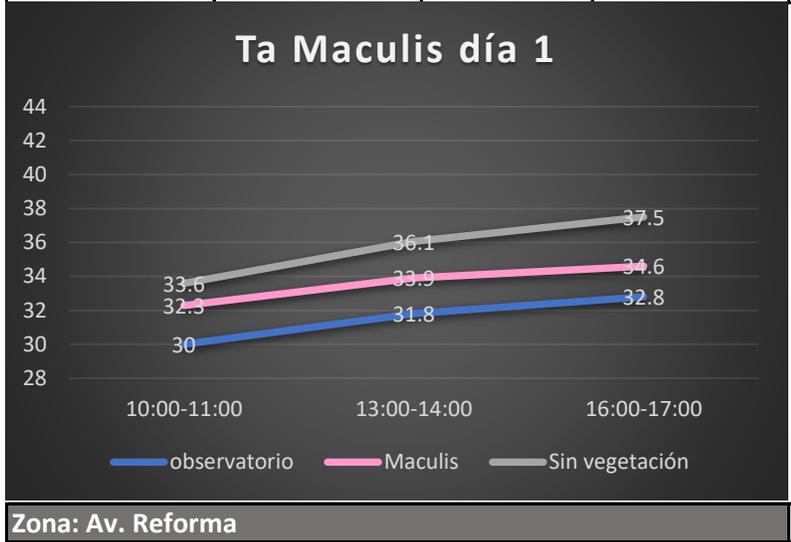
Ta	observatorio	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	31	31.8	33.1
13:00-14:00	32.6	33.0	34.9
16:00-17:00	31.2	32.5	33.9



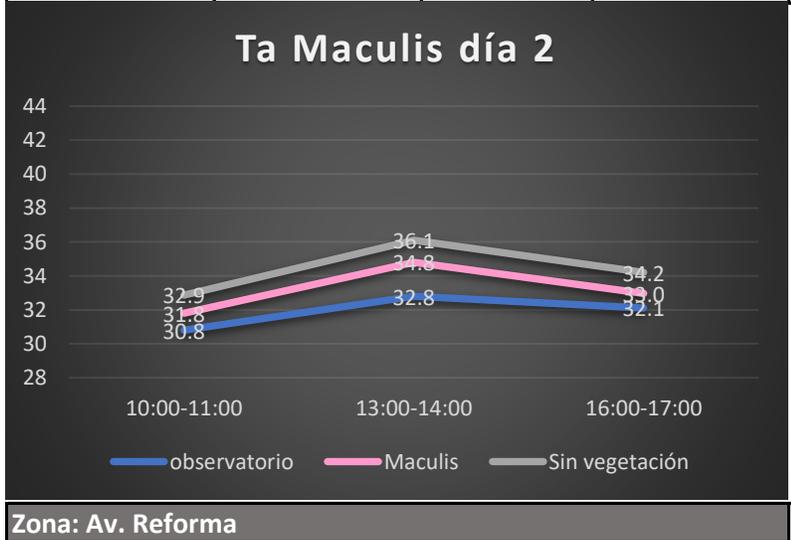
Ta	observatorio	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	30.6	30.7	32.4
13:00-14:00	32.4	33.2	35.0
16:00-17:00	32.0	33.0	35.5



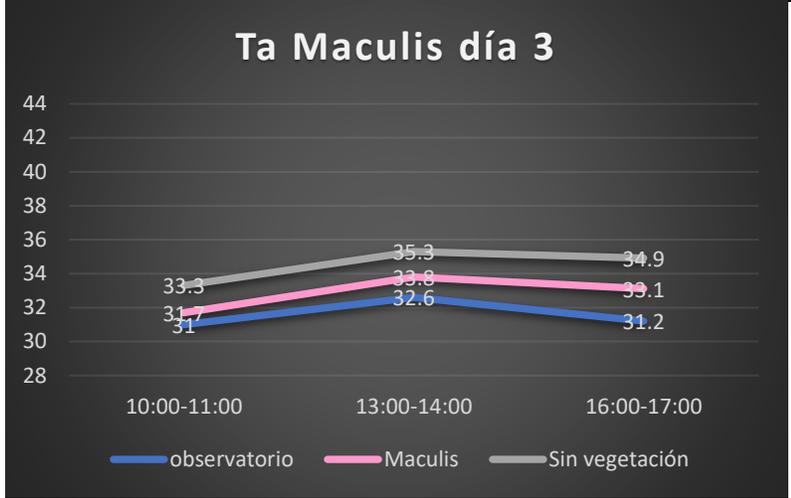
Ta	observatorio	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	30	32.3	33.6
13:00-14:00	31.8	33.9	36.1
16:00-17:00	32.8	34.6	37.5



Ta	observatorio	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	30.8	31.8	32.9
13:00-14:00	32.8	34.8	36.1
16:00-17:00	32.1	33.0	34.2

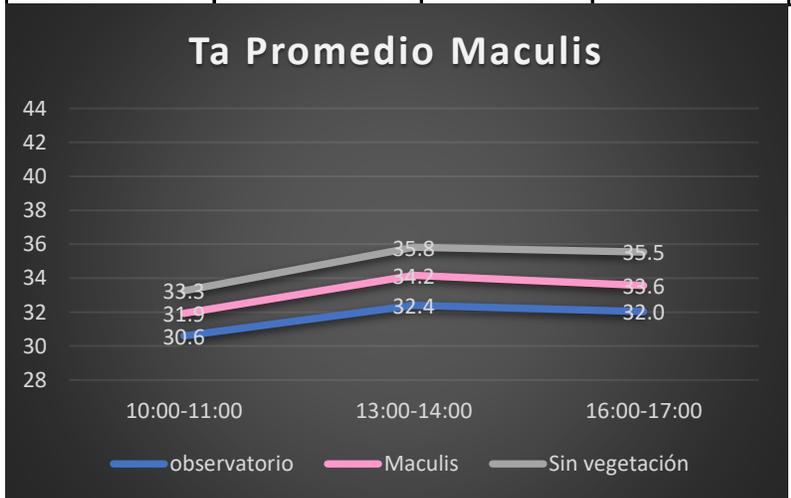


Ta	observatorio	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	31	31.7	33.3
13:00-14:00	32.6	33.8	35.3
16:00-17:00	31.2	33.1	34.9

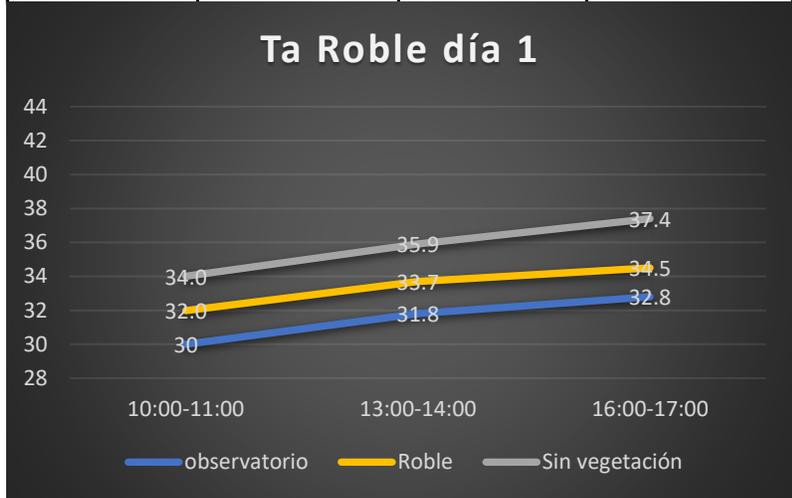


Zona: Av. Reforma

Ta	observatorio	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	30.6	31.9	33.3
13:00-14:00	32.4	34.2	35.8
16:00-17:00	32.0	33.6	35.5

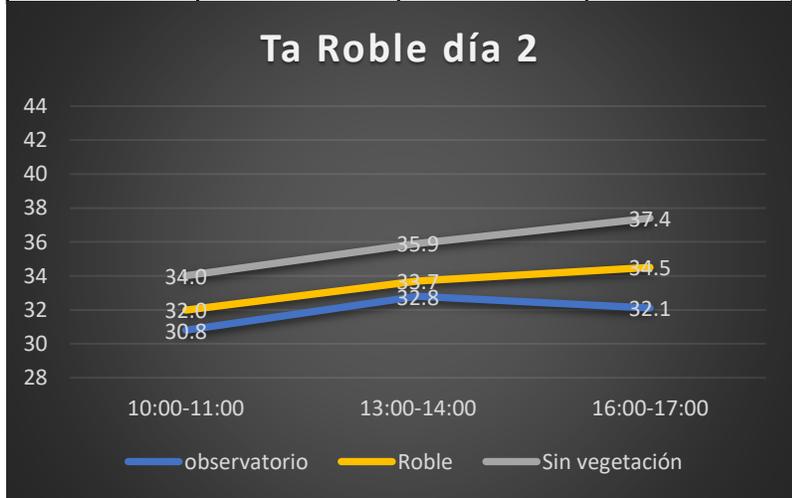


Ta	observatorio	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	30	32.0	34.0
13:00-14:00	31.8	33.7	35.9
16:00-17:00	32.8	34.5	37.4



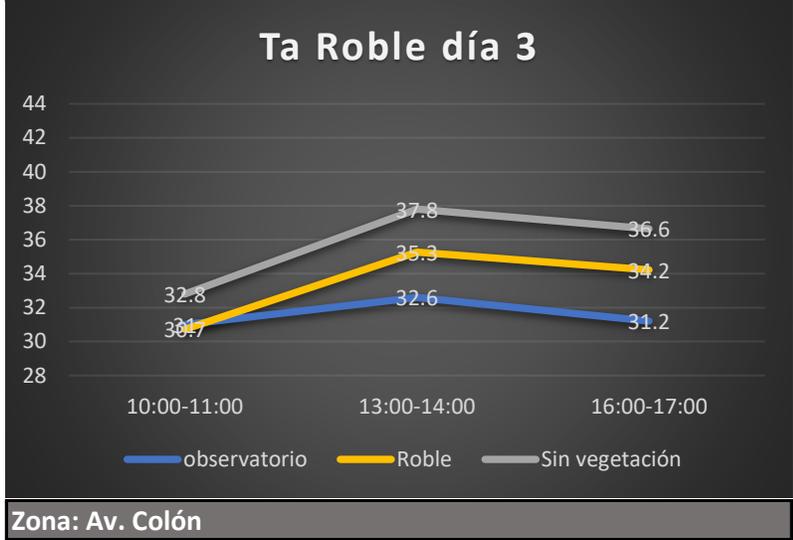
**Zona: Av. Colón**

Ta	observatorio	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	30.8	32.0	34.0
13:00-14:00	32.8	33.7	35.9
16:00-17:00	32.1	34.5	37.4

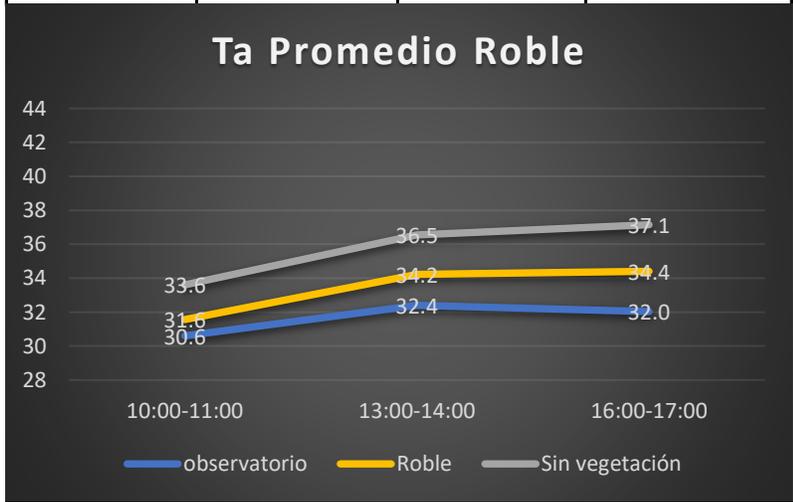


**Zona: Av. Colón**

Ta	observatorio	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	31	30.7	32.8
13:00-14:00	32.6	35.3	37.8
16:00-17:00	31.2	34.2	36.6

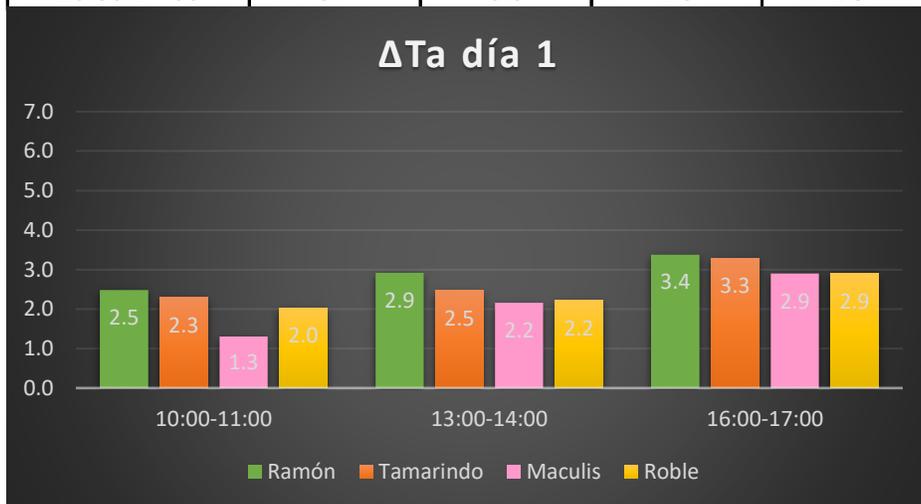


Ta	observatorio	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	30.6	31.6	33.6
13:00-14:00	32.4	34.2	36.5
16:00-17:00	32.0	34.4	37.1

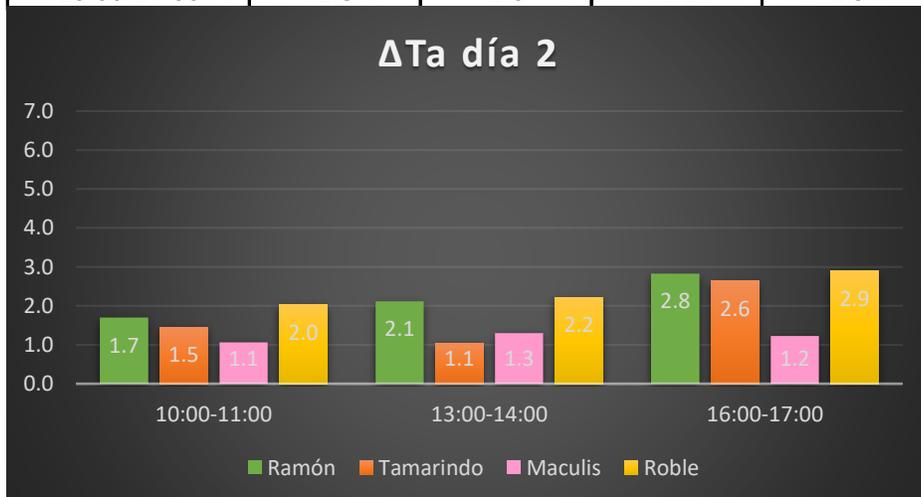


Diferencias de temperatura bajo y fuera de la sombra del árbol.

Ta	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	2.5	2.3	1.3	2.0
13:00-14:00	2.9	2.5	2.2	2.2
16:00-17:00	3.4	3.3	2.9	2.9

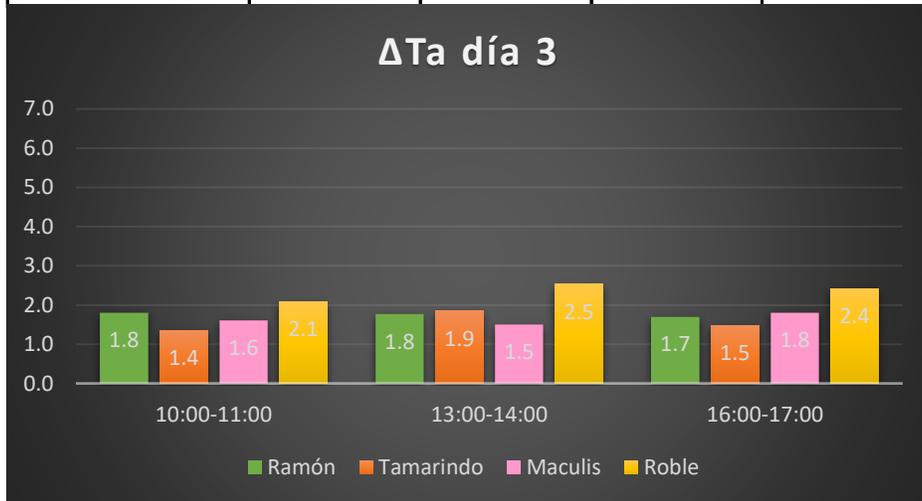


Ta	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	1.7	1.5	1.1	2.0
13:00-14:00	2.1	1.1	1.3	2.2
16:00-17:00	2.8	2.6	1.2	2.9

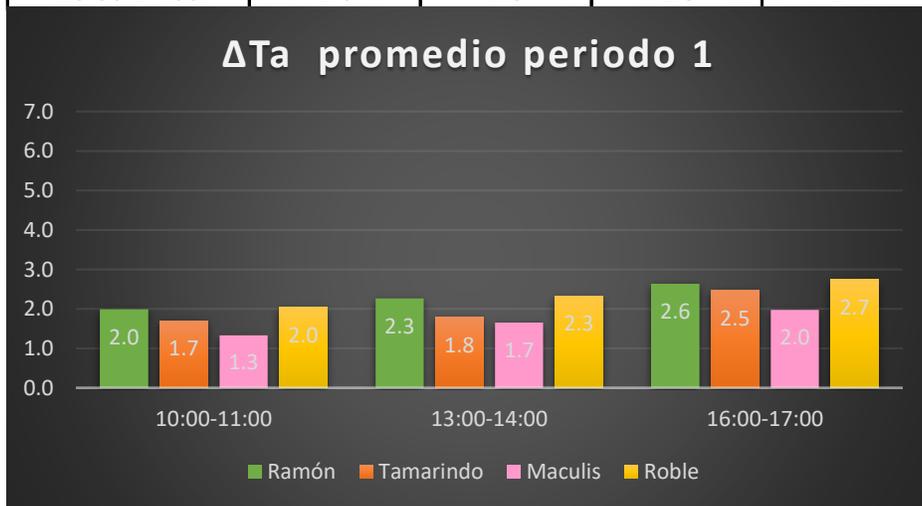


Diferencias de temperatura bajo y fuera de la sombra del árbol.

Ta	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	1.8	1.4	1.6	2.1
13:00-14:00	1.8	1.9	1.5	2.5
16:00-17:00	1.7	1.5	1.8	2.4

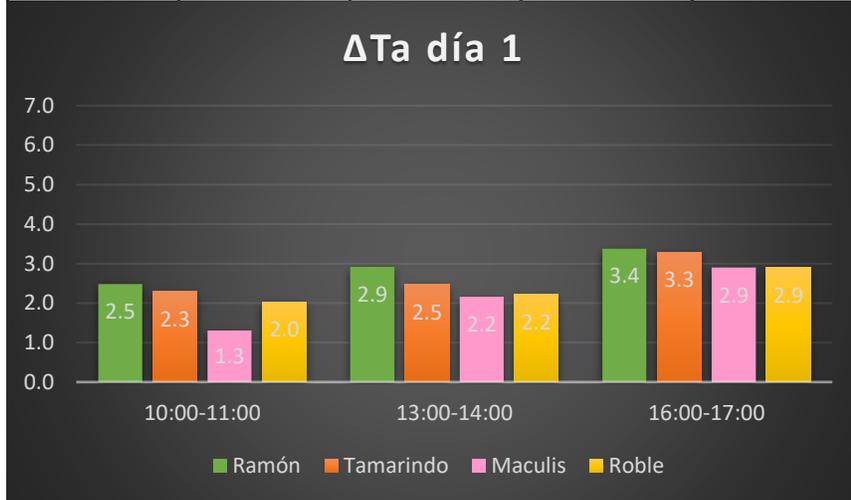


Ta	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	2.0	1.7	1.3	2.0
13:00-14:00	2.3	1.8	1.7	2.3
16:00-17:00	2.6	2.5	2.0	2.7

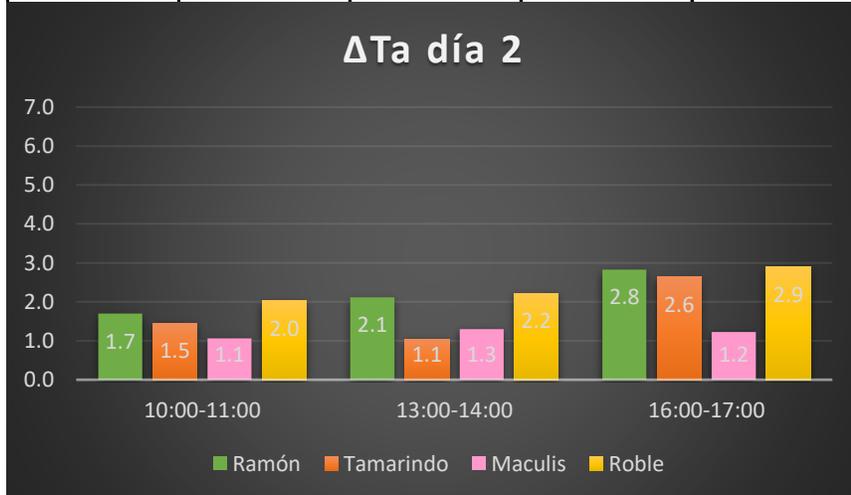


Diferencias de temperatura bajo sombra del árbol y zona suburbana.

Ta	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	2.5	2.8	3.6	4.0
13:00-14:00	4.1	3.4	4.3	4.1
16:00-17:00	5.1	4.4	4.7	4.6

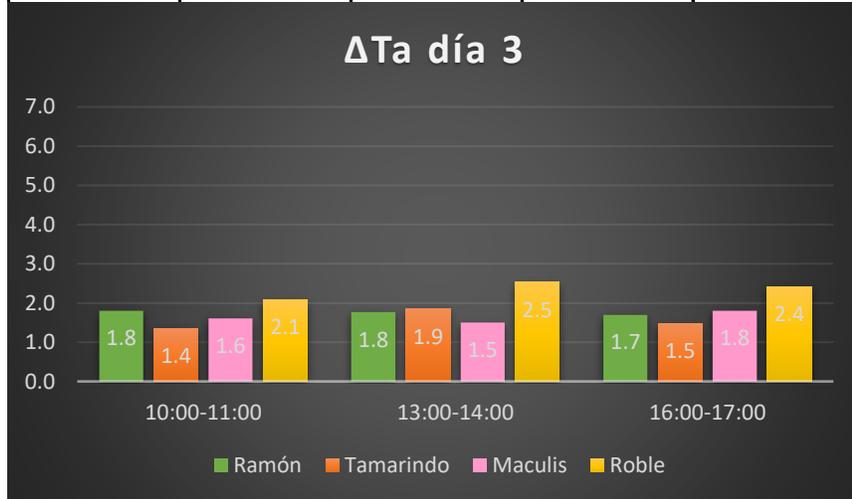


Ta	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	1.2	0.5	2.1	3.2
13:00-14:00	2.8	2.1	3.3	3.1
16:00-17:00	5.1	3.2	2.1	5.3

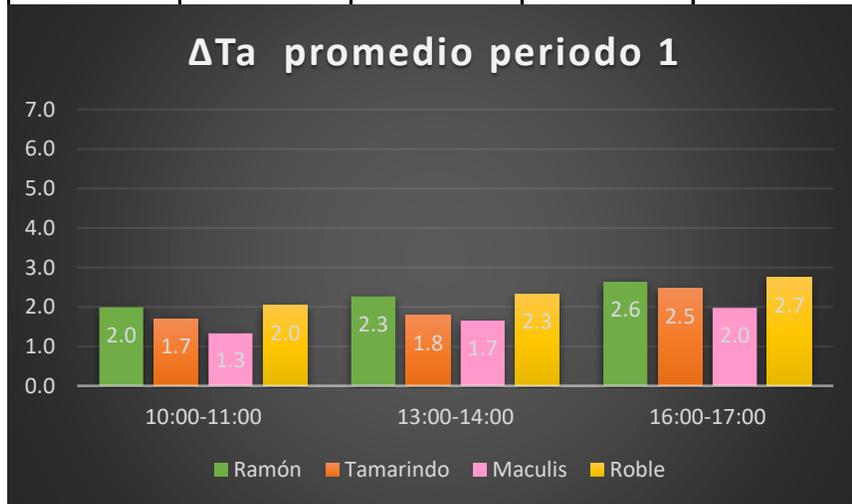


Diferencias de temperatura bajo sombra del árbol y zona suburbana.

Ta	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	3.6	2.1	2.3	1.8
13:00-14:00	3.6	2.3	2.7	5.2
16:00-17:00	1.8	2.7	3.7	5.4

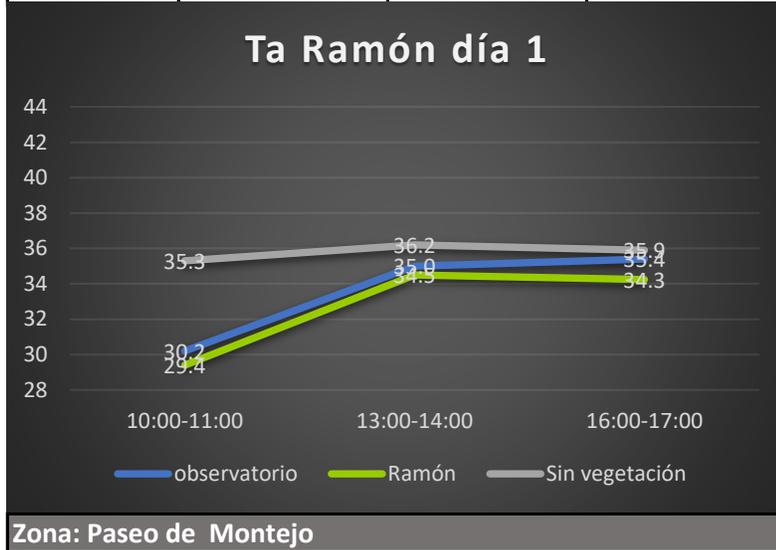


Ta	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	2.4	1.8	2.7	3.0
13:00-14:00	3.5	2.6	3.4	4.1
16:00-17:00	4.0	3.4	3.5	5.1

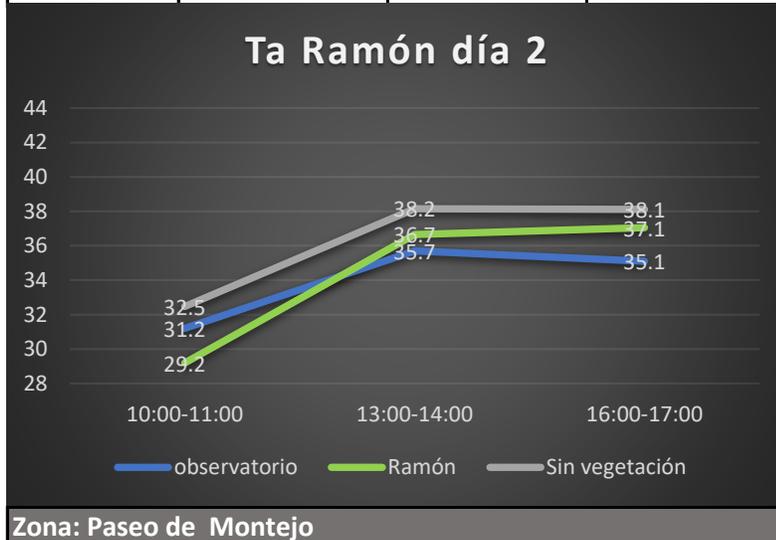


**Gráficas de temperatura del aire por día durante periodo cálido seco (periodo 2).**

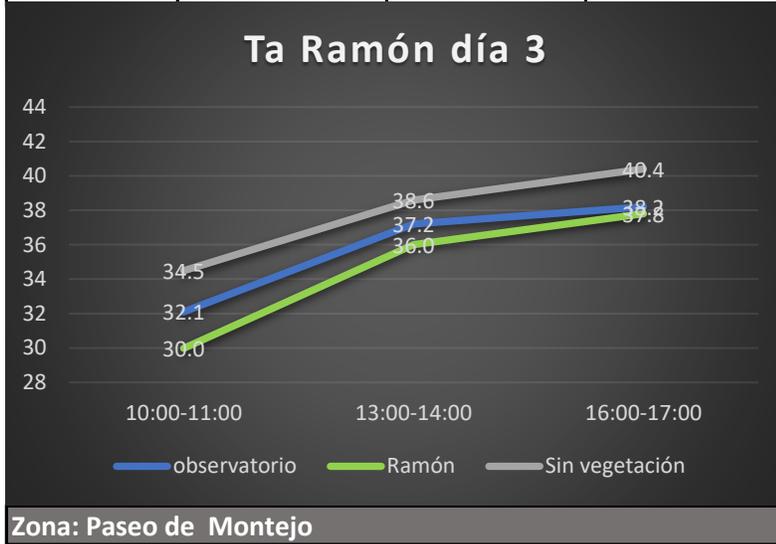
Ta	observatorio	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	30.2	29.4	35.3
13:00-14:00	35.0	34.5	36.2
16:00-17:00	35.4	34.3	35.9



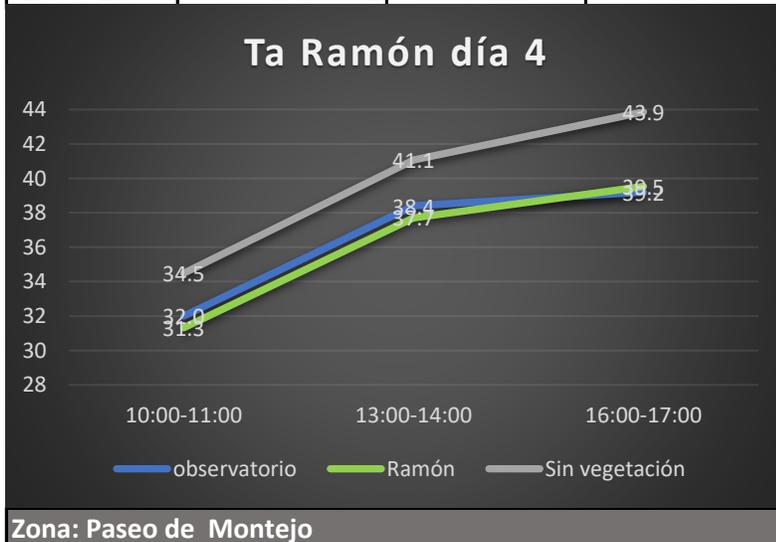
Ta	observatorio	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	31.2	29.2	32.5
13:00-14:00	35.7	36.7	38.2
16:00-17:00	35.1	37.1	38.1



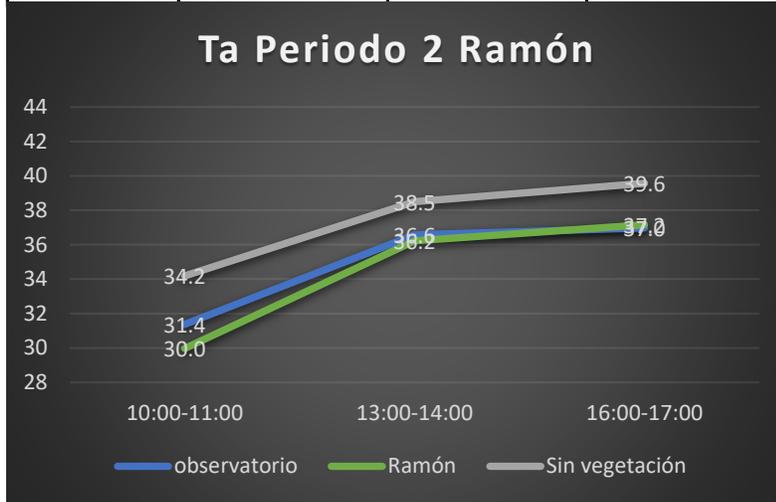
Ta	observatorio	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	32.1	30.0	34.5
13:00-14:00	37.2	36.0	38.6
16:00-17:00	38.2	37.8	40.4



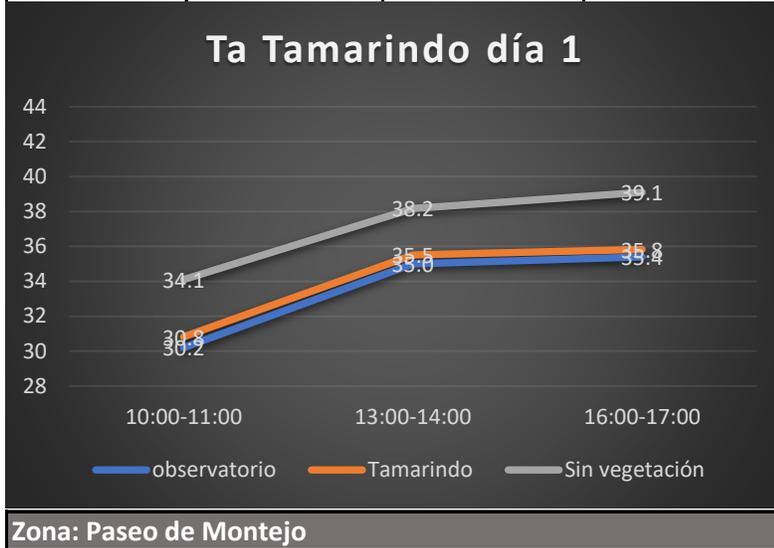
Ta	observatorio	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	32.0	31.3	34.5
13:00-14:00	38.4	37.7	41.1
16:00-17:00	39.2	39.5	43.9



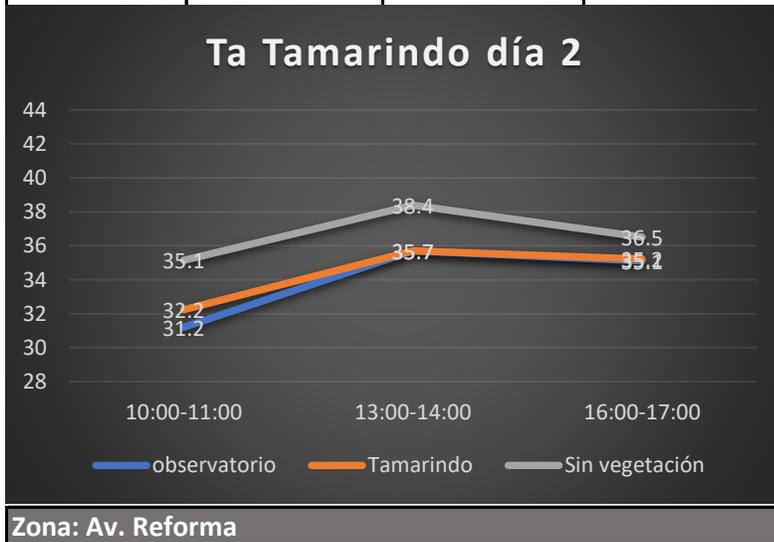
Ta	observatorio	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	31.4	30.0	34.2
13:00-14:00	36.6	36.2	38.5
16:00-17:00	37.0	37.2	39.6



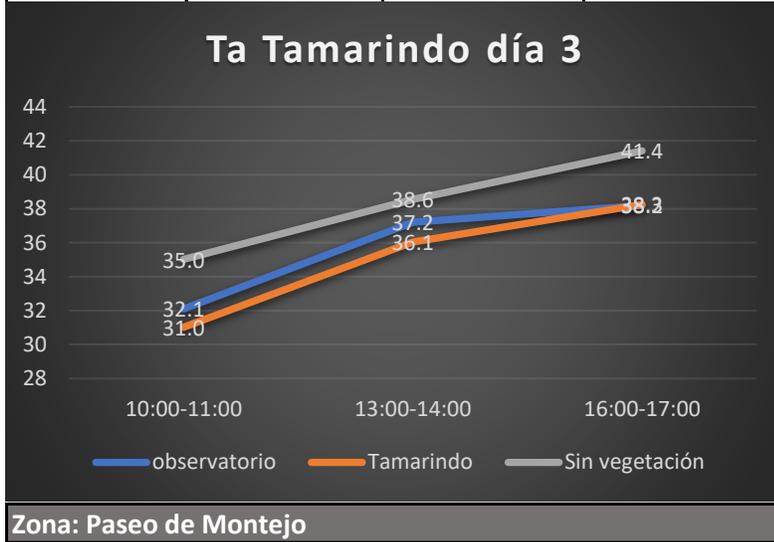
Ta	observatorio	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	30.2	30.8	34.1
13:00-14:00	35.0	35.5	38.2
16:00-17:00	35.4	35.8	39.1



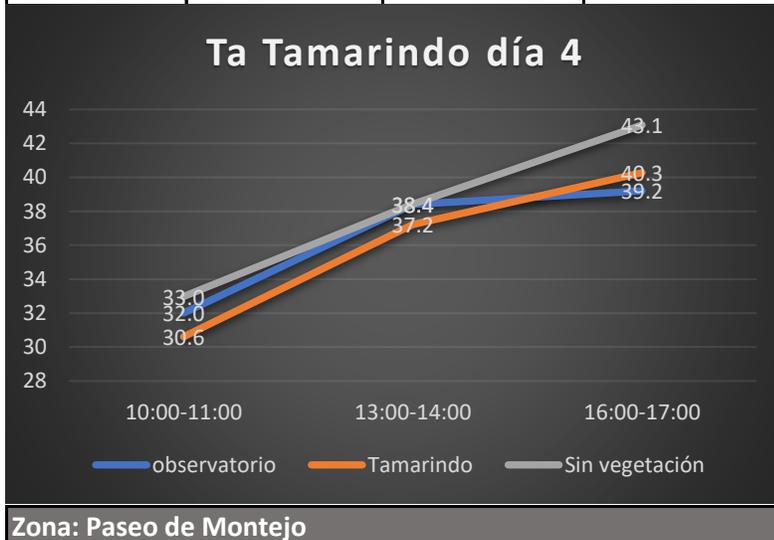
Ta	observatorio	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	31.2	32.2	35.1
13:00-14:00	35.7	35.7	38.4
16:00-17:00	35.1	35.2	36.5



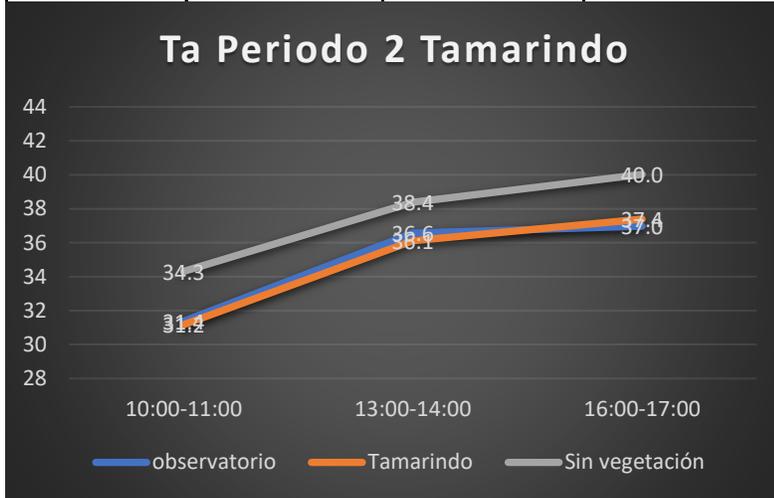
Ta	observatorio	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	32.1	31.0	35.0
13:00-14:00	37.2	36.1	38.6
16:00-17:00	38.2	38.3	41.4



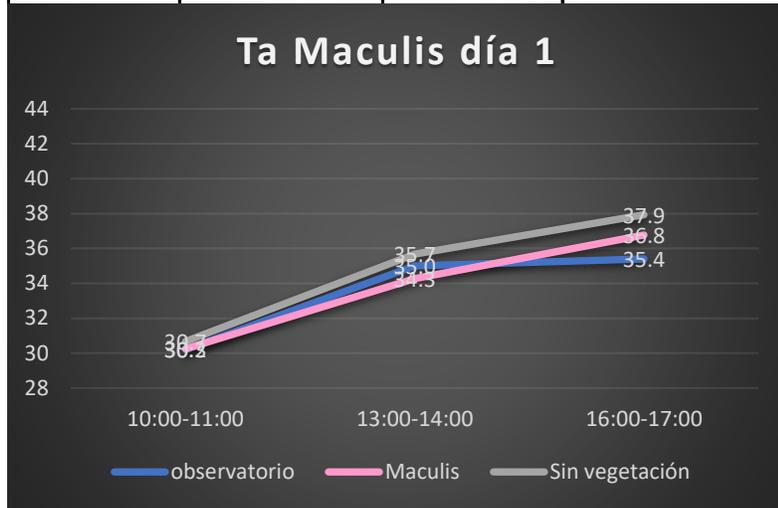
Ta	observatorio	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	32.0	30.6	33.0
13:00-14:00	38.4	37.2	38.4
16:00-17:00	39.2	40.3	43.1



Ta	observatorio	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	31.4	31.2	34.3
13:00-14:00	36.6	36.1	38.4
16:00-17:00	37.0	37.4	40.0

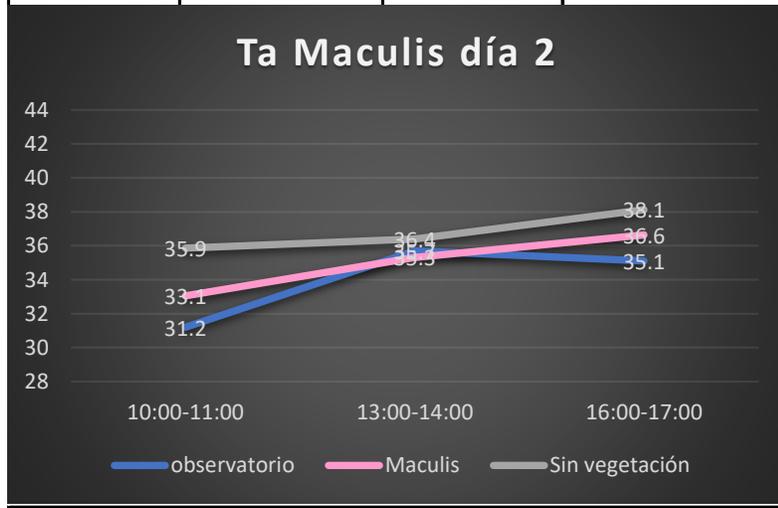


Ta	observatorio	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	30.2	30.3	30.7
13:00-14:00	35.0	34.3	35.7
16:00-17:00	35.4	36.8	37.9



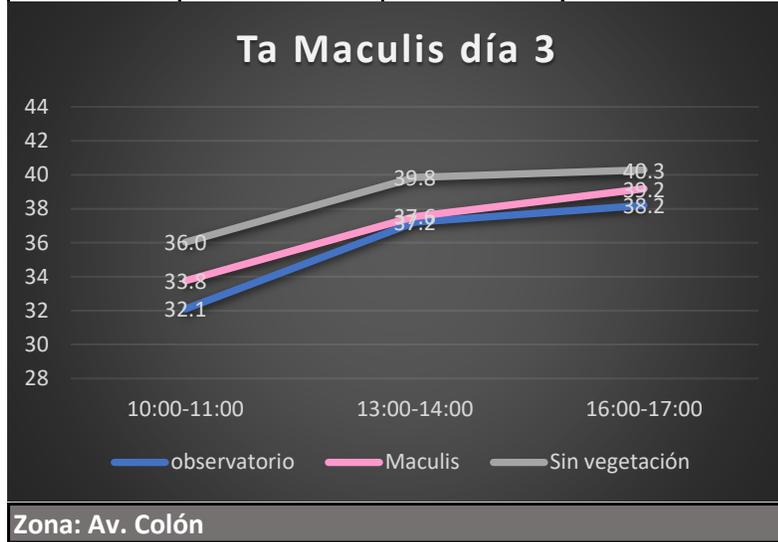
**Zona: Av. Reforma**

Ta	observatorio	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	31.2	33.1	35.9
13:00-14:00	35.7	35.3	36.4
16:00-17:00	35.1	36.6	38.1

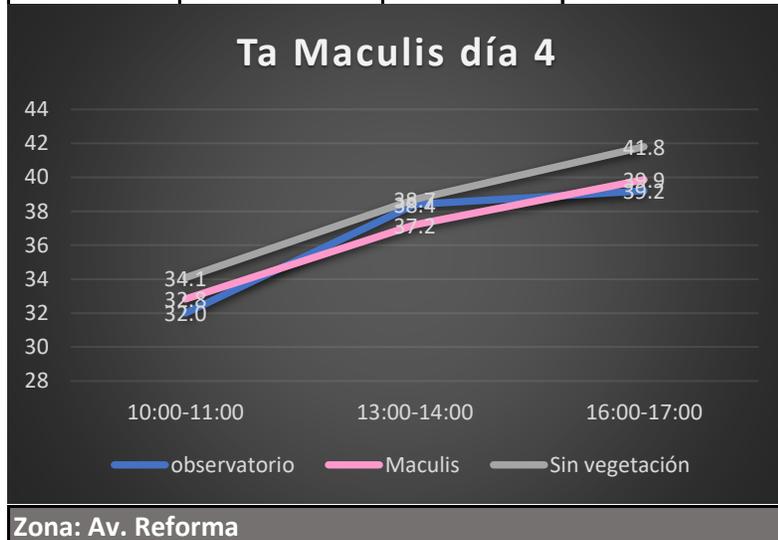


**Zona: Av. Reforma**

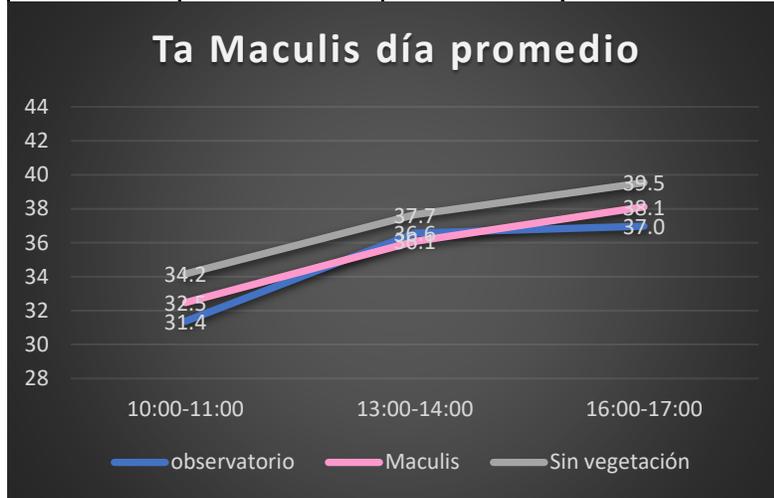
Ta	observatorio	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	32.1	33.8	36.0
13:00-14:00	37.2	37.6	39.8
16:00-17:00	38.2	39.2	40.3



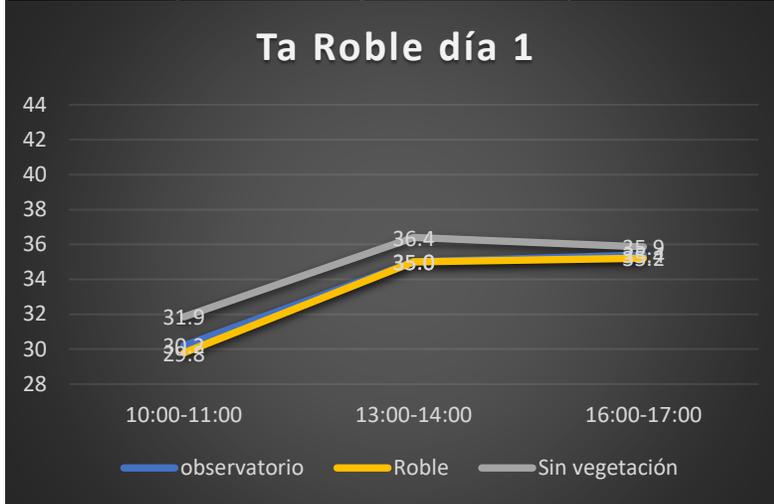
Ta	observatorio	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	32.0	32.8	34.1
13:00-14:00	38.4	37.2	38.7
16:00-17:00	39.2	39.9	41.8



Ta	observatorio	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	31.4	32.5	34.2
13:00-14:00	36.6	36.1	37.7
16:00-17:00	37.0	38.1	39.5

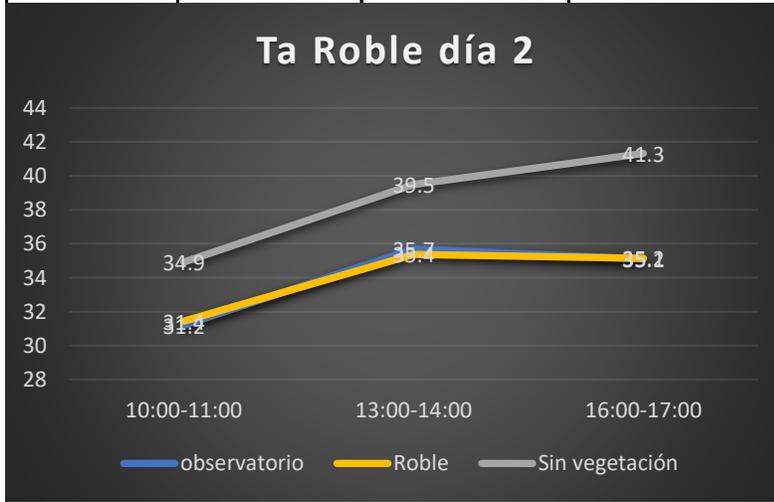


Ta	observatorio	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	30.2	29.8	31.9
13:00-14:00	35.0	35.0	36.4
16:00-17:00	35.4	35.2	35.9



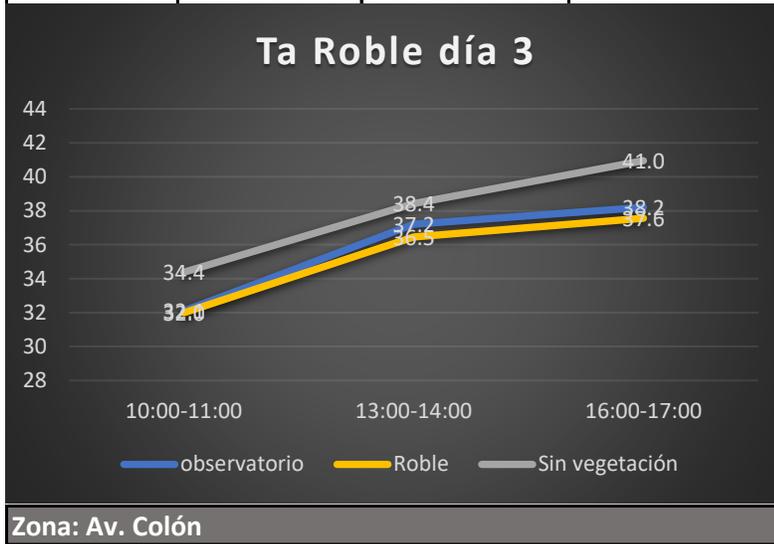
Zona: Av. Colón

Ta	observatorio	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	31.2	31.4	34.9
13:00-14:00	35.7	35.4	39.5
16:00-17:00	35.1	35.2	41.3

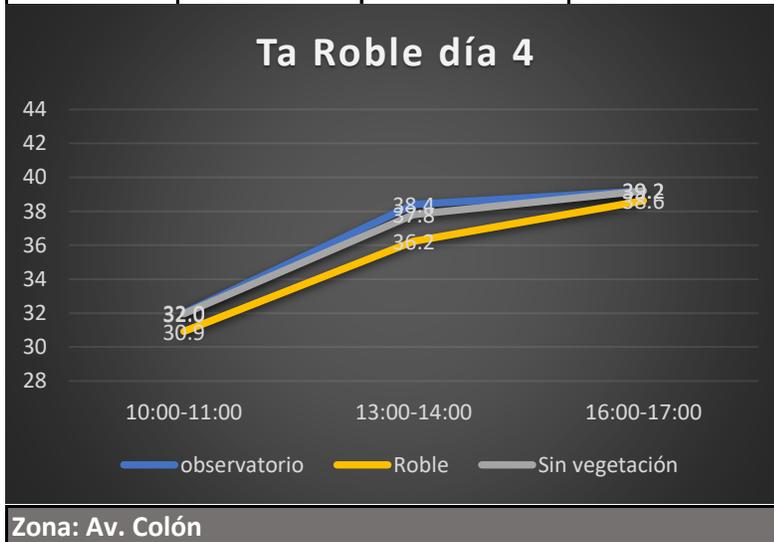


Zona: Av. Colón

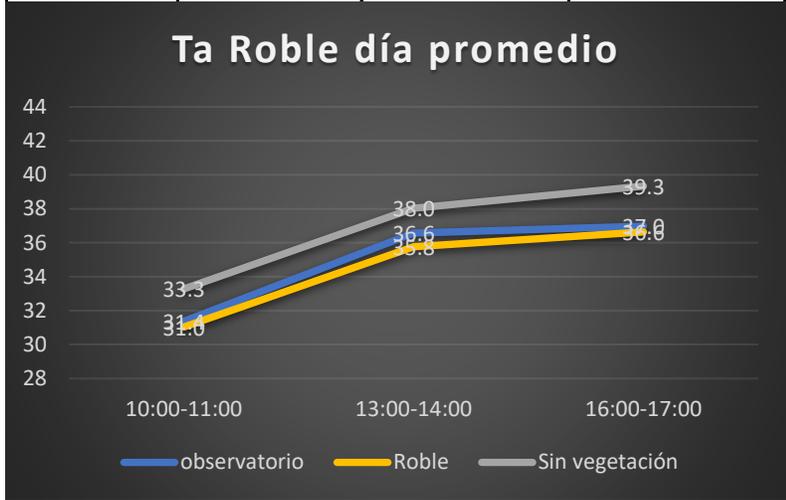
Ta	observatorio	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	32.1	32.0	34.4
13:00-14:00	37.2	36.5	38.4
16:00-17:00	38.2	37.6	41.0



Ta	observatorio	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	32.0	30.9	32.0
13:00-14:00	38.4	36.2	37.8
16:00-17:00	39.2	38.6	39.2

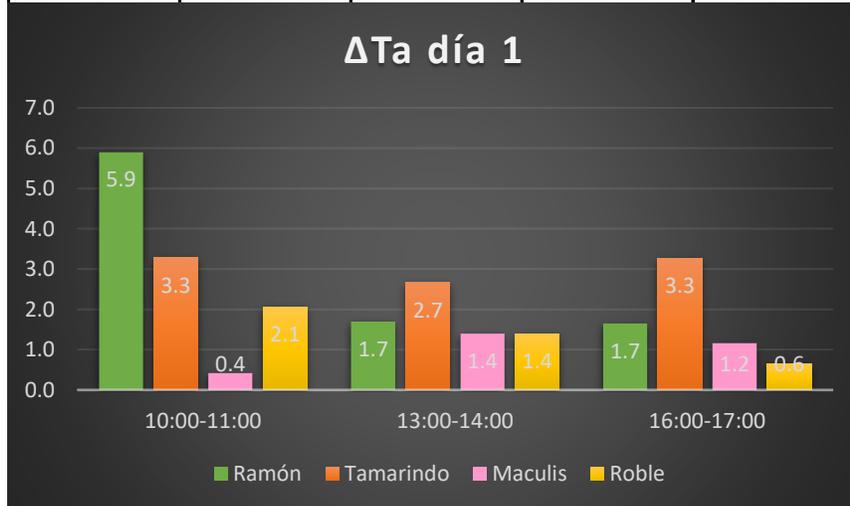


Ta	observatorio	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	31.4	31.0	33.3
13:00-14:00	36.6	35.8	38.0
16:00-17:00	37.0	36.6	39.3

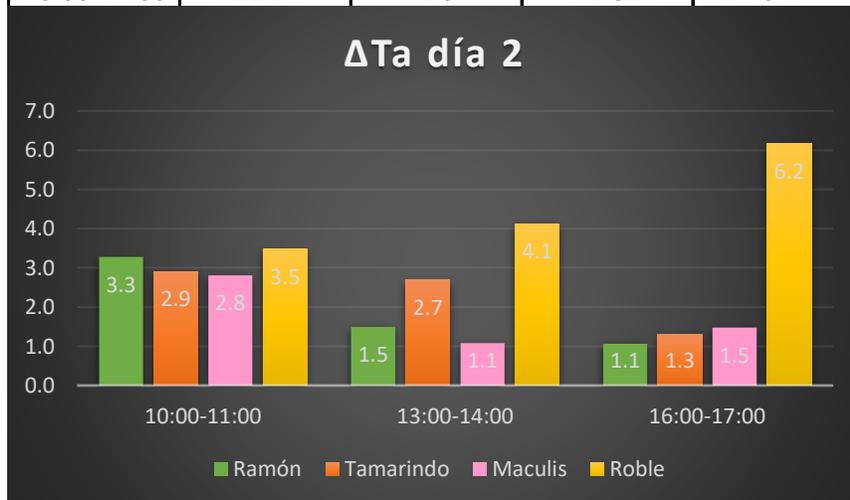


Diferencias de temperatura bajo y fuera de la sombra del árbol

Ta	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	5.9	3.3	0.4	2.1
13:00-14:00	1.7	2.7	1.4	1.4
16:00-17:00	1.7	3.3	1.2	0.6

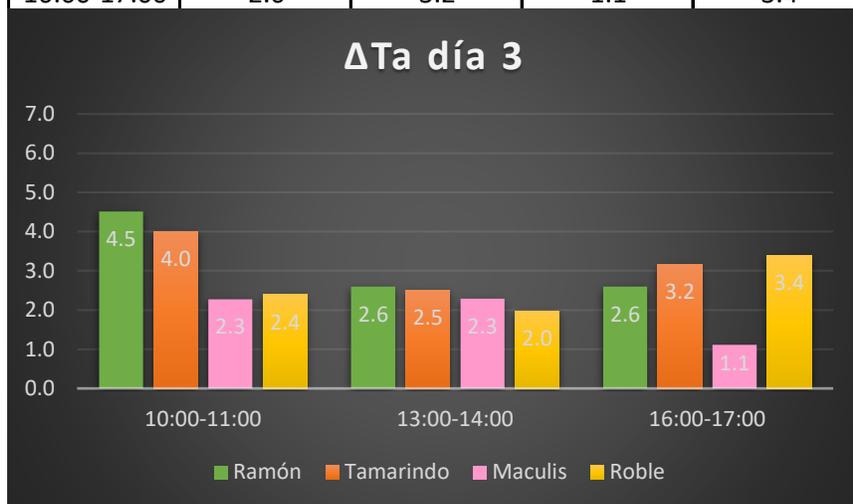


Ta	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	3.3	2.9	2.8	3.5
13:00-14:00	1.5	2.7	1.1	4.1
16:00-17:00	1.1	1.3	1.5	6.2

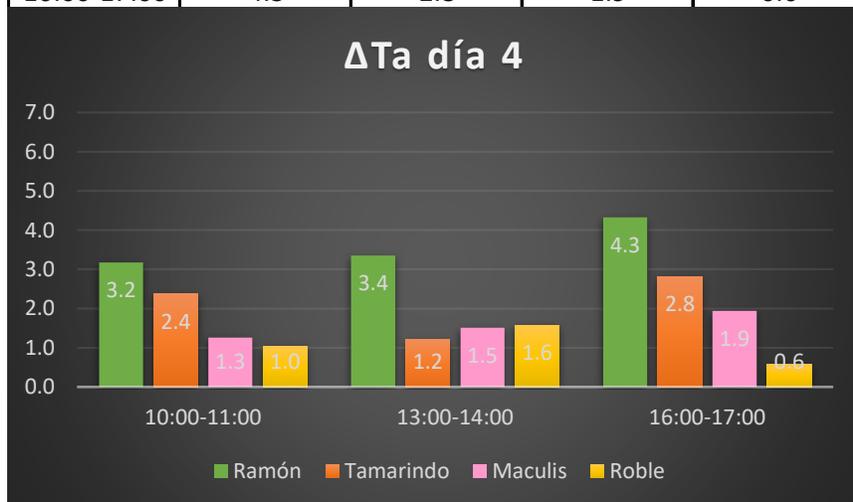


## Diferencias de temperatura bajo y fuera de la sombra del árbol

Ta	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	4.5	4.0	2.3	2.4
13:00-14:00	2.6	2.5	2.3	2.0
16:00-17:00	2.6	3.2	1.1	3.4

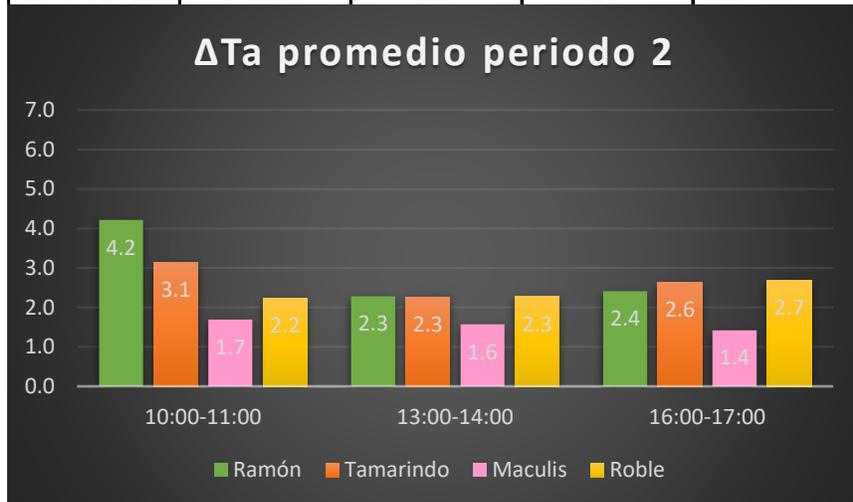


Ta	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	3.2	2.4	1.3	1.0
13:00-14:00	3.4	1.2	1.5	1.6
16:00-17:00	4.3	2.8	1.9	0.6



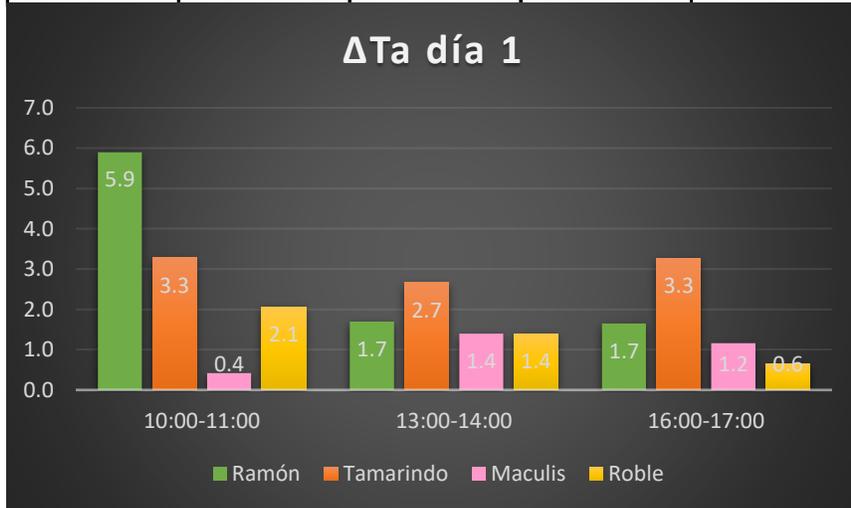
## Diferencias de temperatura bajo y fuera de la sombra del árbol

Ta	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	4.2	3.1	1.7	2.2
13:00-14:00	2.3	2.3	1.6	2.3
16:00-17:00	2.4	2.6	1.4	2.7

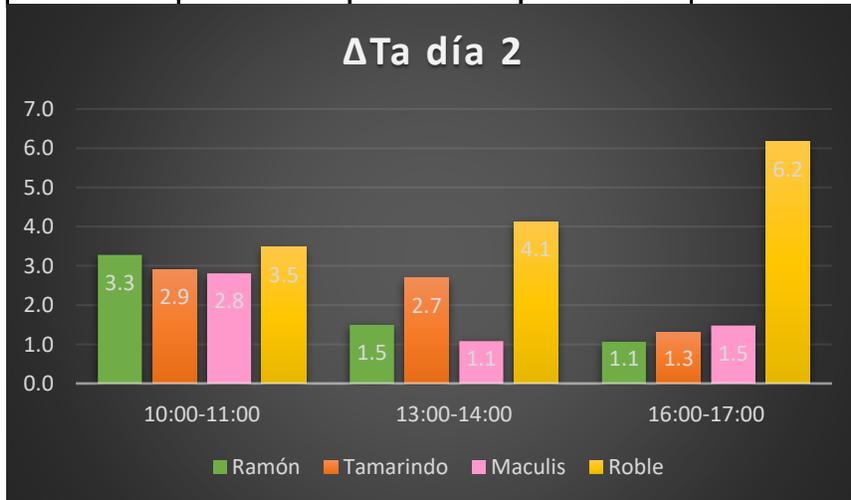


Diferencias de temperatura bajo sombra del árbol y zona suburbana

Ta	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	5.1	3.9	0.5	1.7
13:00-14:00	1.2	3.2	0.7	1.4
16:00-17:00	0.5	3.7	2.5	0.5

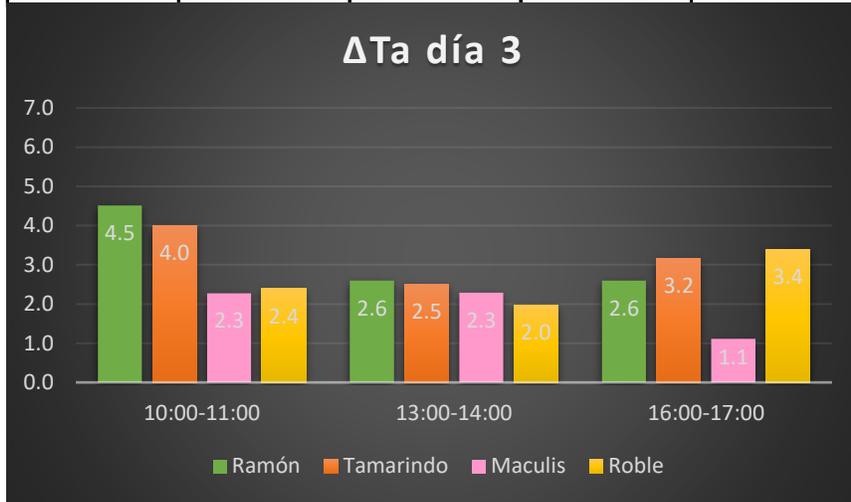


Ta	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	1.3	3.9	4.7	3.7
13:00-14:00	2.5	2.7	0.7	3.8
16:00-17:00	3.0	1.4	3.0	6.2

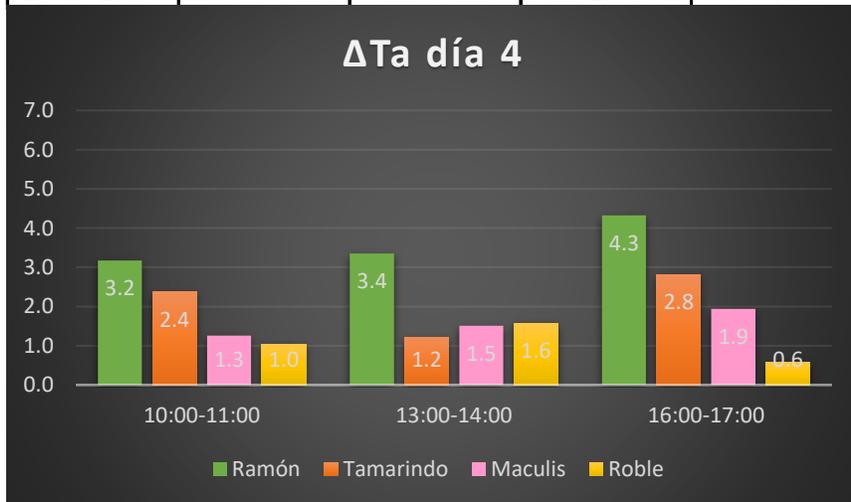


Diferencias de temperatura bajo sombra del árbol y zona suburbana

Ta	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	2.4	2.9	3.9	2.3
13:00-14:00	1.4	1.4	2.6	1.2
16:00-17:00	2.2	3.2	2.1	2.8

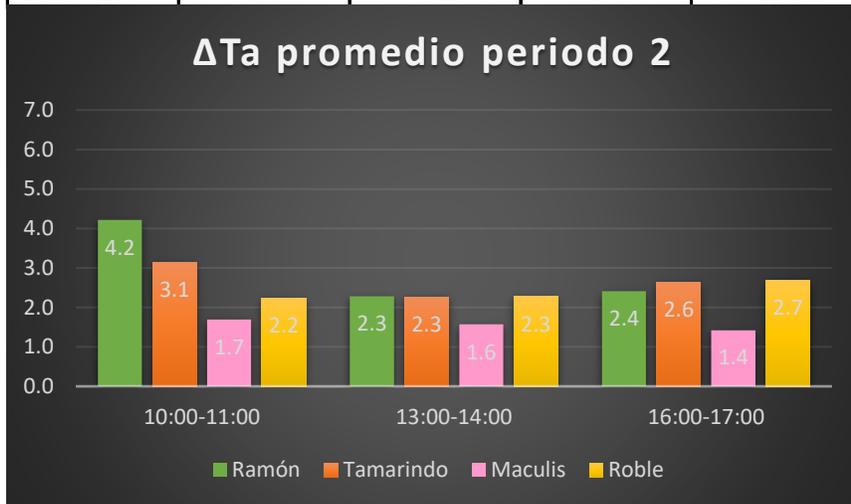


Ta	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	2.5	1.0	2.1	0.0
13:00-14:00	2.7	0.0	0.3	-0.6
16:00-17:00	4.7	3.9	2.6	0.0



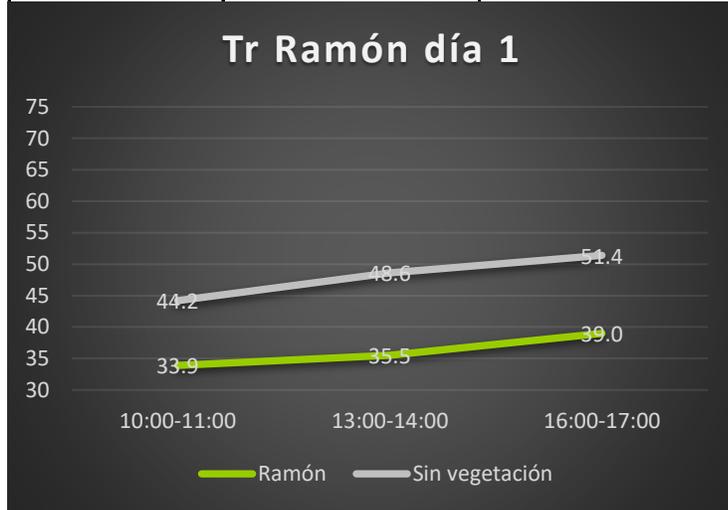
Diferencias de temperatura bajo sombra del árbol y zona suburbana

Ta	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	2.8	2.9	2.8	1.9
13:00-14:00	1.9	1.8	1.1	1.5
16:00-17:00	2.6	3.1	2.6	2.4



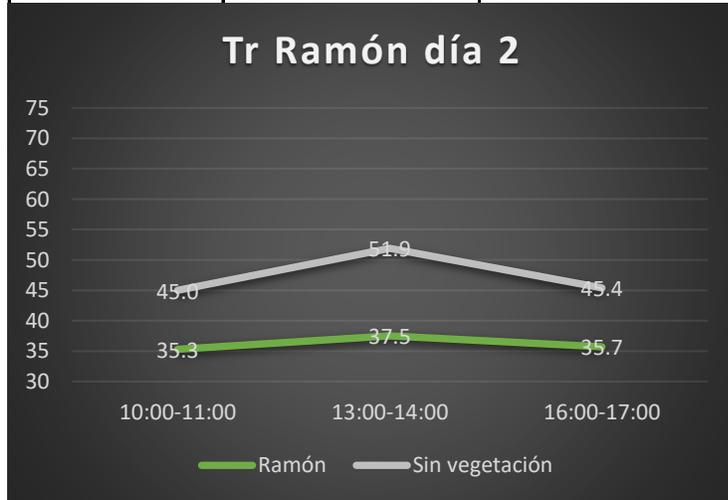
**Gráficas de temperatura radiante por día durante periodo cálido húmedo (periodo 1).**

Tr	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	33.9	44.2
13:00-14:00	35.5	48.6
16:00-17:00	39.0	51.4



Zona: Paseo de Montejo

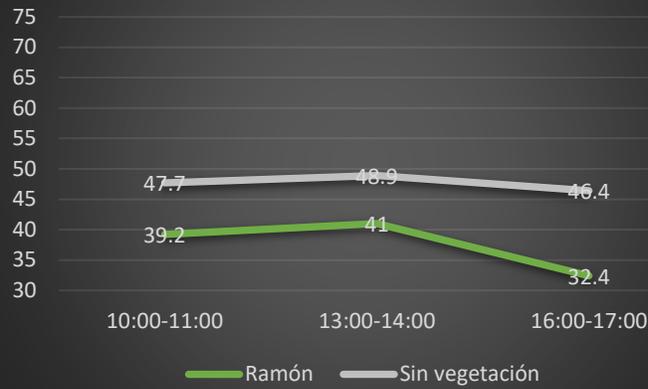
Tr	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	35.3	45.0
13:00-14:00	37.5	51.9
16:00-17:00	35.7	45.4



Zona: Paseo de Montejo

Tr	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	39.2	47.7
13:00-14:00	41	48.9
16:00-17:00	32.4	46.4

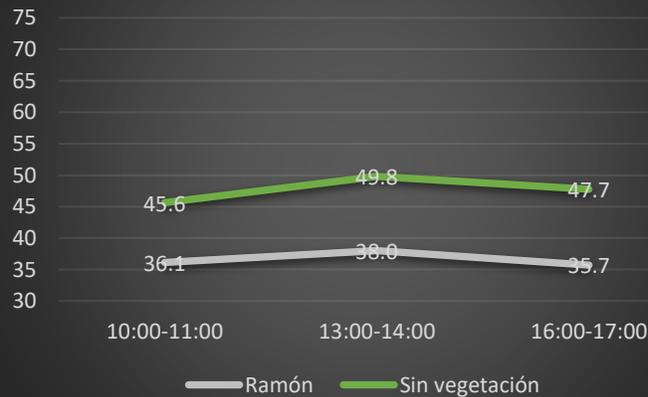
### Tr Ramón día 3



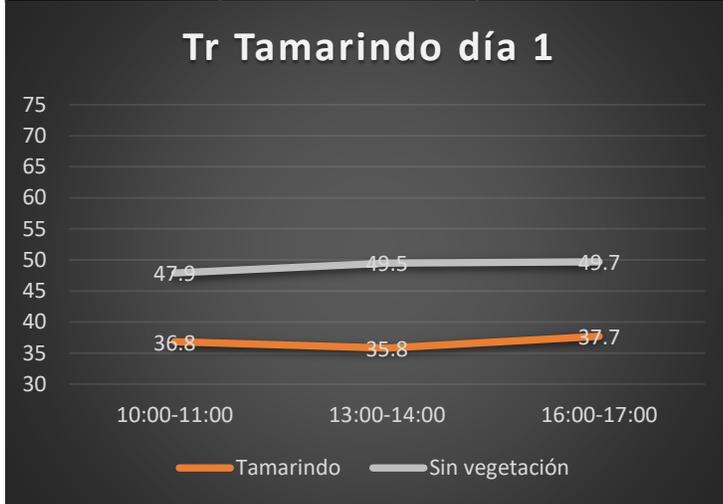
Zona: Paseo de Montejo

Tr	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	36.1	45.6
13:00-14:00	38.0	49.8
16:00-17:00	35.7	47.7

### Tr Periodo 1 Ramón

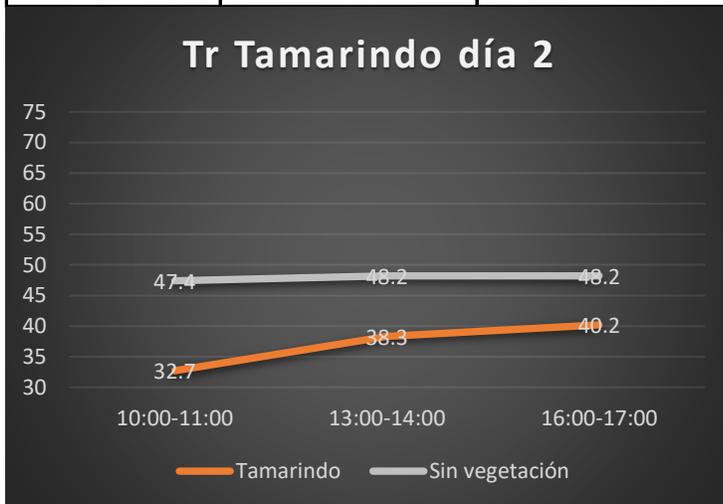


Tr	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	36.8	47.9
13:00-14:00	35.8	49.5
16:00-17:00	37.7	49.7



Zona: Paseo de Montejo

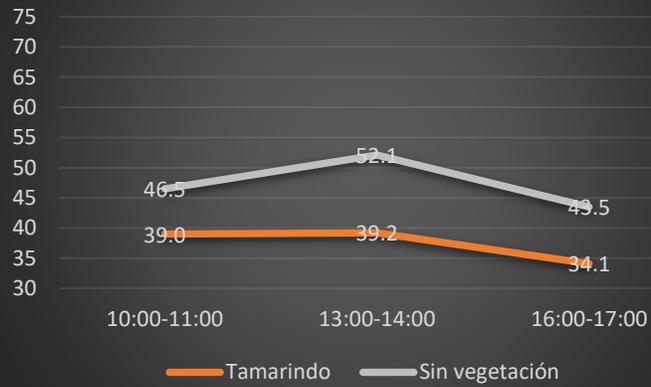
Tr	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	32.7	47.4
13:00-14:00	38.3	48.2
16:00-17:00	40.2	48.2



Zona: Av. Reforma

Tr	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	39.0	46.5
13:00-14:00	39.2	52.1
16:00-17:00	34.1	43.5

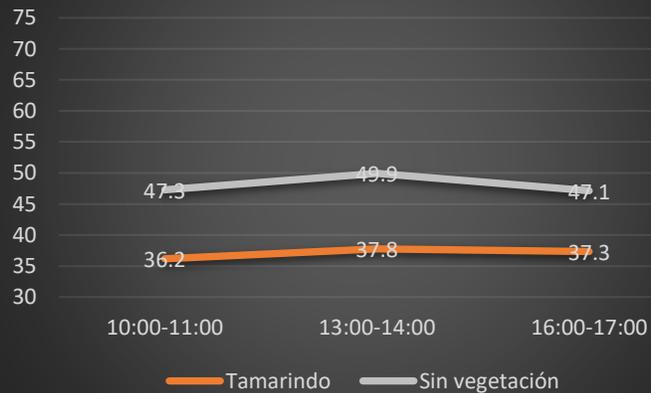
### Tr Tamarindo día 3



Zona: Paseo de Montejo

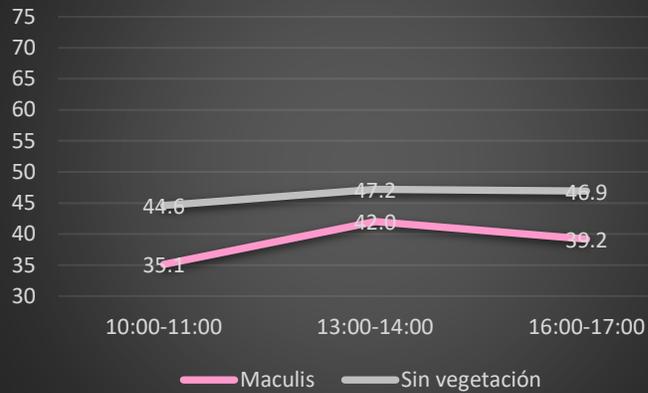
Tr	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	36.2	47.3
13:00-14:00	37.8	49.9
16:00-17:00	37.3	47.1

### Tr Periodo 1 Tamarindo



Tr	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	35.1	44.6
13:00-14:00	42.0	47.2
16:00-17:00	39.2	46.9

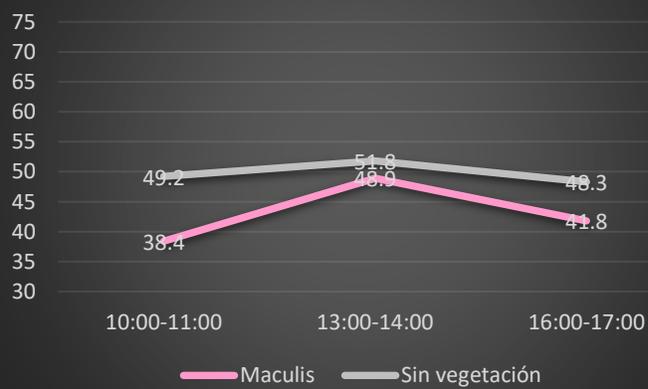
### Tr Maculis día 1



Zona: Av. Reforma

Tr	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	38.4	49.2
13:00-14:00	48.9	51.8
16:00-17:00	41.8	48.3

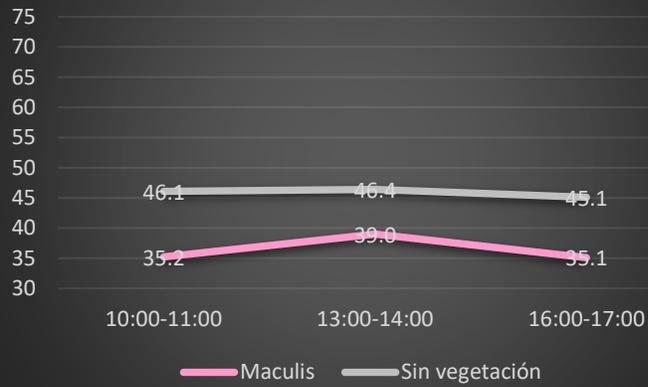
### Tr Maculis día 2



Zona: Av. Reforma

Tr	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	35.2	46.1
13:00-14:00	39.0	46.4
16:00-17:00	35.1	45.1

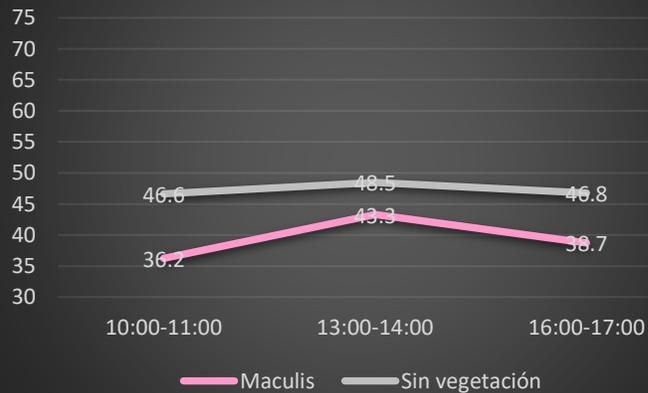
### Tr Maculis día 3



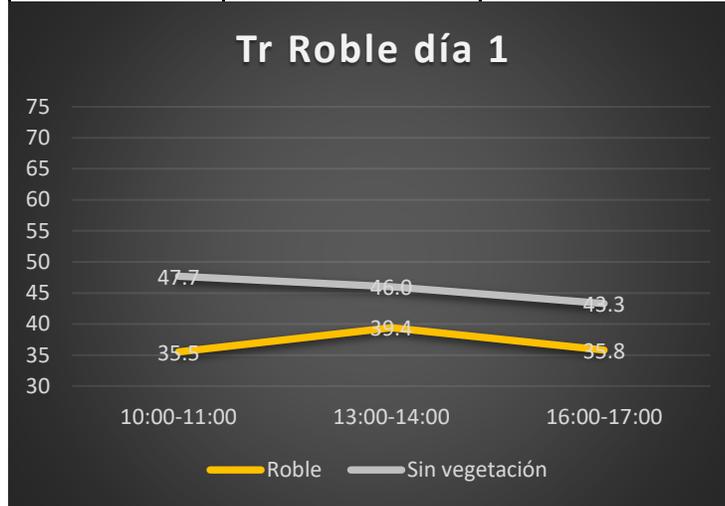
Zona: Av. Colón

Tr	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	36.2	46.6
13:00-14:00	43.3	48.5
16:00-17:00	38.7	46.8

### Tr Promedio Maculis

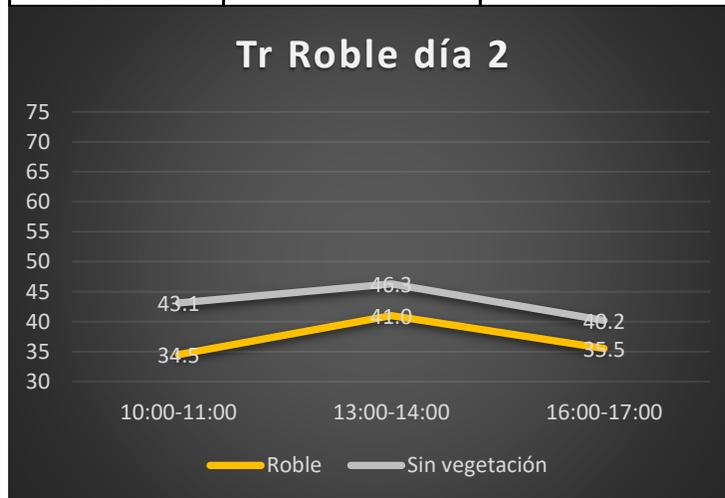


Tr	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	35.5	47.7
13:00-14:00	39.4	46.0
16:00-17:00	35.8	43.3



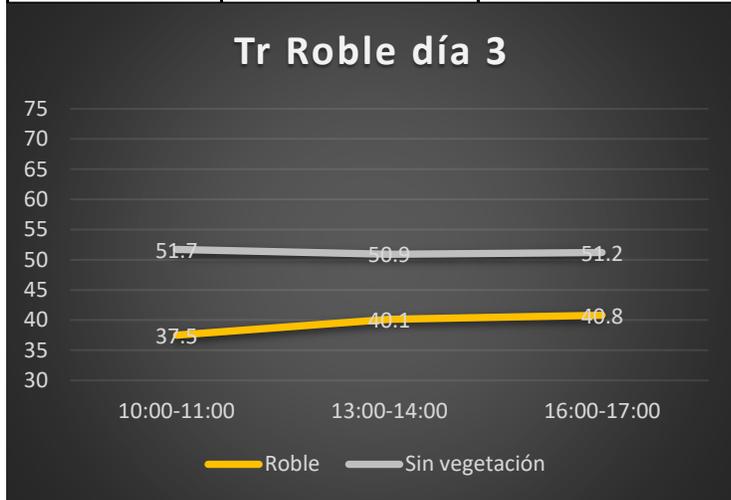
Zona: Av. Colón

Tr	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	34.5	43.1
13:00-14:00	41.0	46.3
16:00-17:00	35.5	40.2



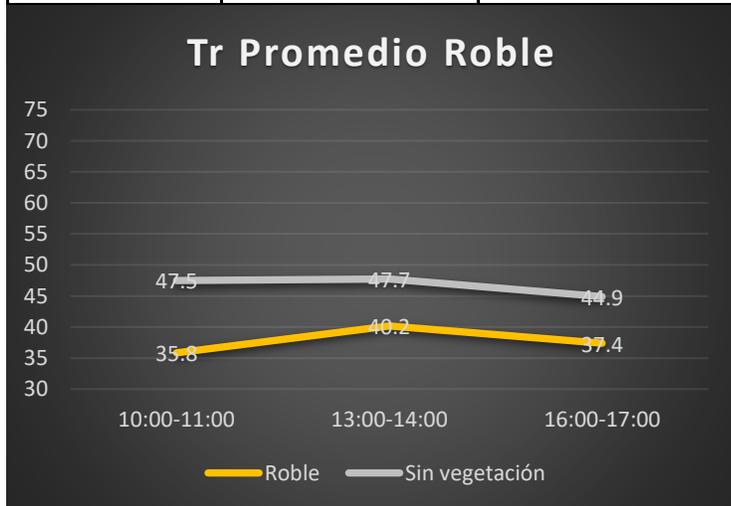
Zona: Av. Colón

Tr	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	37.5	51.7
13:00-14:00	40.1	50.9
16:00-17:00	40.8	51.2



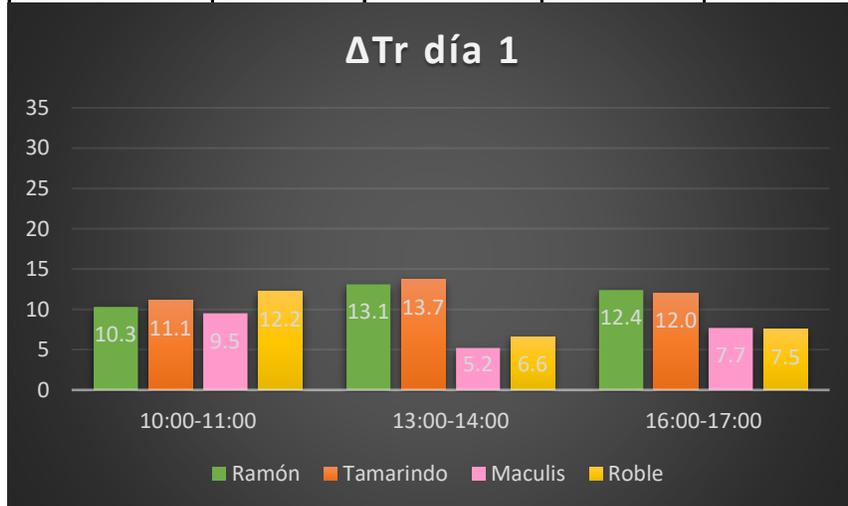
Zona: Av. Colón

Tr	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	35.8	47.5
13:00-14:00	40.2	47.7
16:00-17:00	37.4	44.9

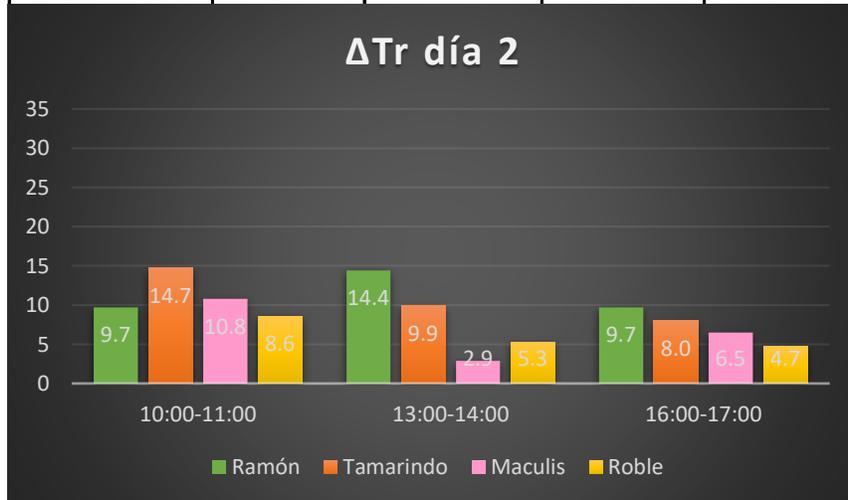


## Diferencias promedio de temperatura radiante

Tr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	10.3	11.1	9.5	12.2
13:00-14:00	13.1	13.7	5.2	6.6
16:00-17:00	12.4	12.0	7.7	7.5

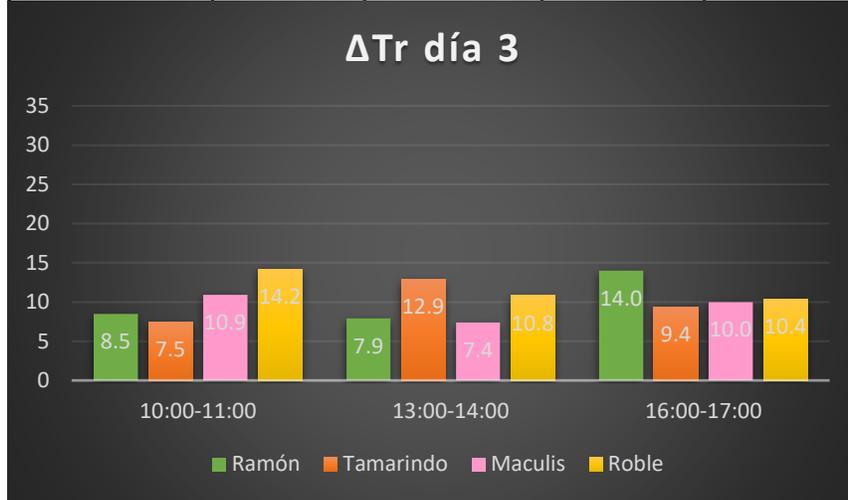


Tr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	9.7	14.7	10.8	8.6
13:00-14:00	14.4	9.9	2.9	5.3
16:00-17:00	9.7	8.0	6.5	4.7

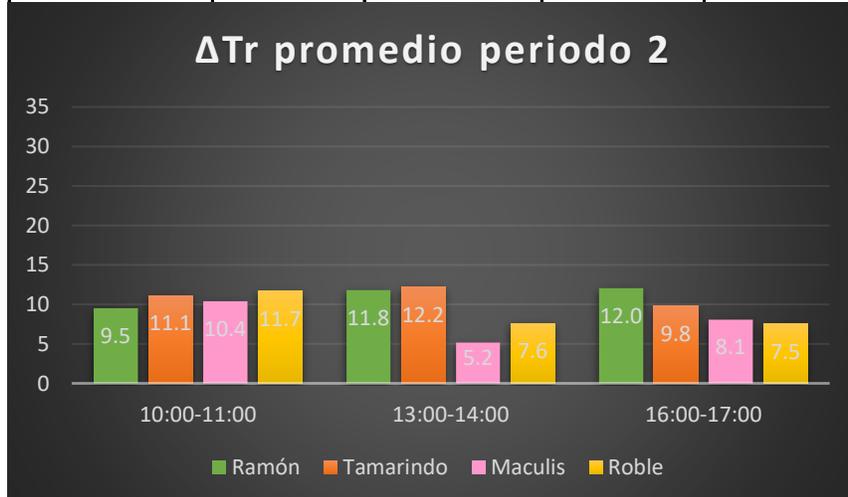


Diferencias promedio de temperatura radiante

Tr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	8.5	7.5	10.9	14.2
13:00-14:00	7.9	12.9	7.4	10.8
16:00-17:00	14.0	9.4	10.0	10.4

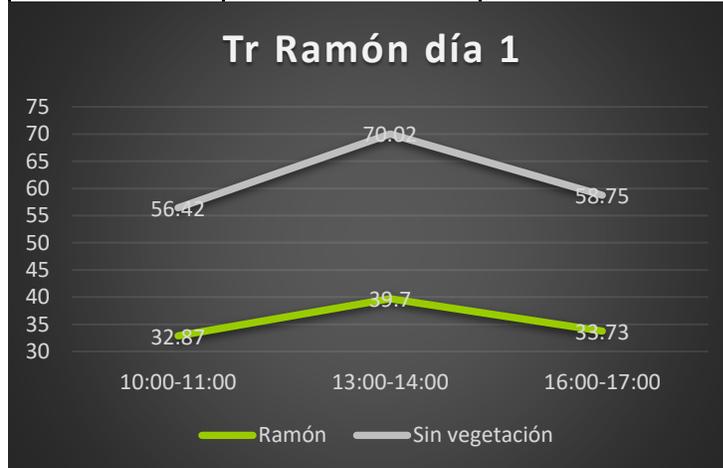


Tr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	9.5	11.1	10.4	11.7
13:00-14:00	11.8	12.2	5.2	7.6
16:00-17:00	12.0	9.8	8.1	7.5



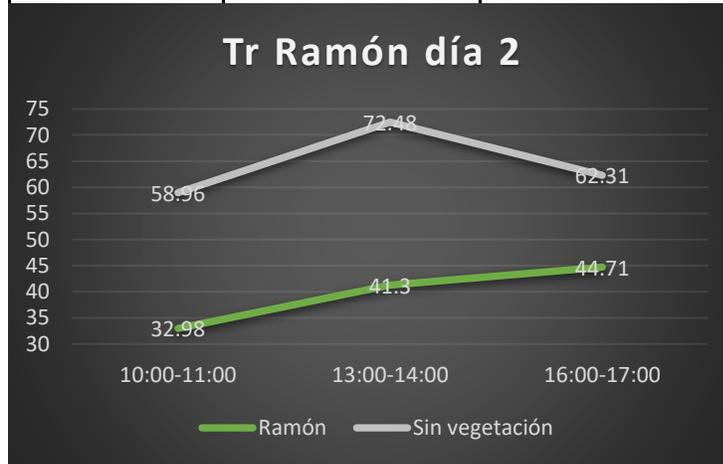
**Gráficas de temperatura radiante por día durante periodo cálido seco (periodo 2).**

Tr	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	32.87	56.42
13:00-14:00	39.7	70.02
16:00-17:00	33.73	58.75



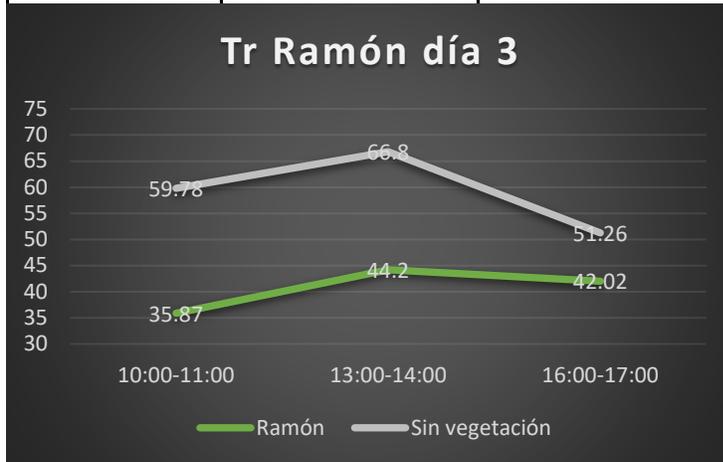
**Zona: Paseo de Montejo**

Tr	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	32.98	58.96
13:00-14:00	41.3	72.48
16:00-17:00	44.71	62.31



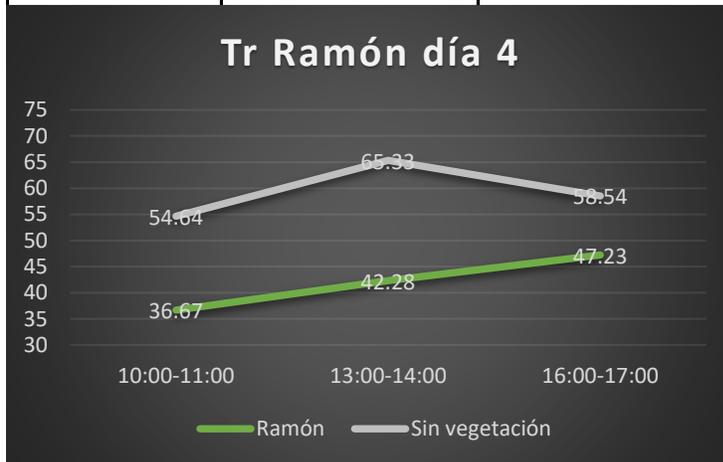
**Zona: Paseo de Montejo**

Tr	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	35.87	59.78
13:00-14:00	44.2	66.8
16:00-17:00	42.02	51.26



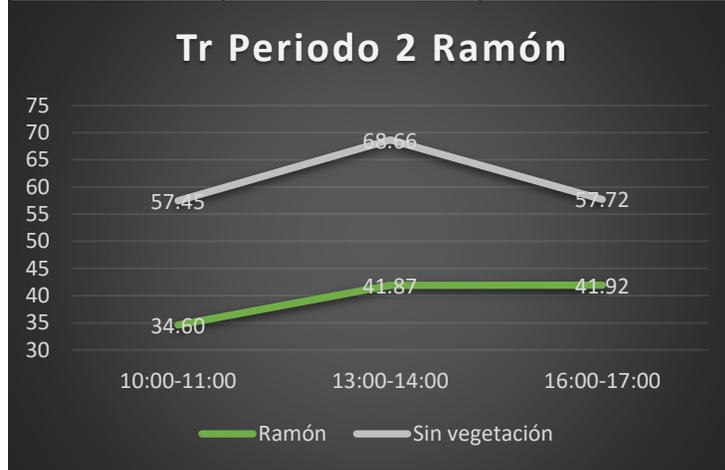
Zona: Paseo de Montejo

Tr	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	36.67	54.64
13:00-14:00	42.28	65.33
16:00-17:00	47.23	58.54



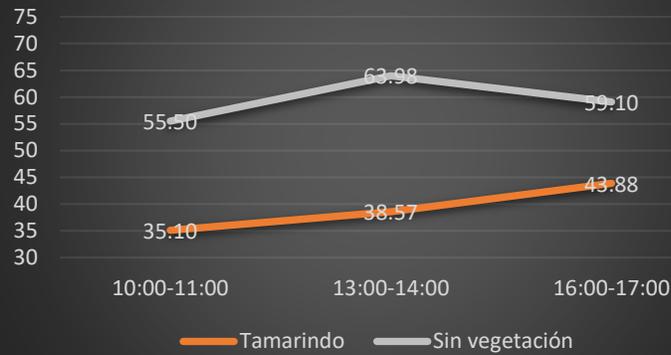
Zona: Paseo de Montejo

Tr	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	34.60	57.45
13:00-14:00	41.87	68.66
16:00-17:00	41.92	57.72



Tr	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	35.10	55.50
13:00-14:00	38.57	63.98
16:00-17:00	43.88	59.10

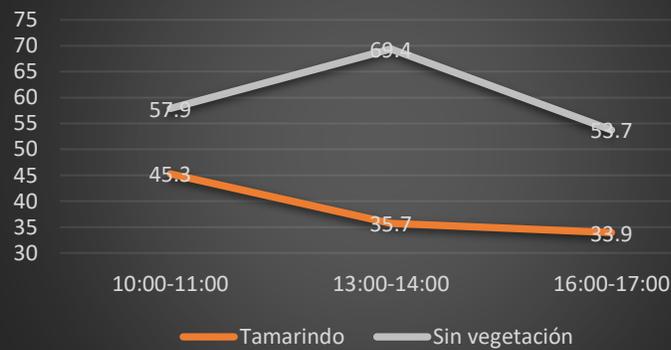
### Tr Tamarindo día 1



Zona: Paseo de Montejo

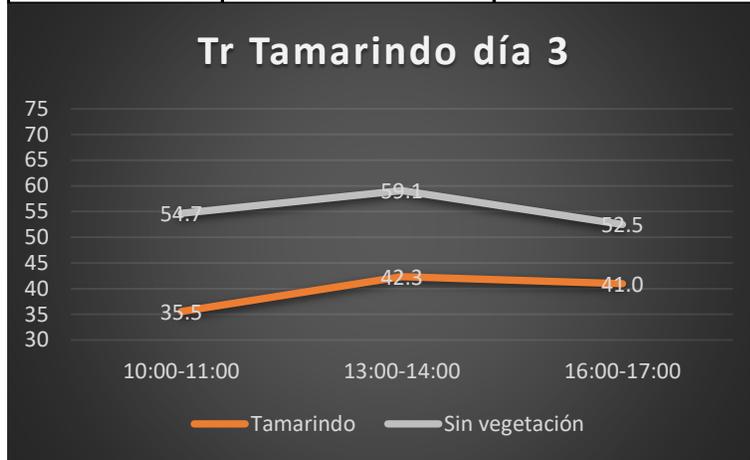
Tr	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	45.3	57.9
13:00-14:00	35.7	69.4
16:00-17:00	33.9	53.7

### Tr Tamarindo día 2



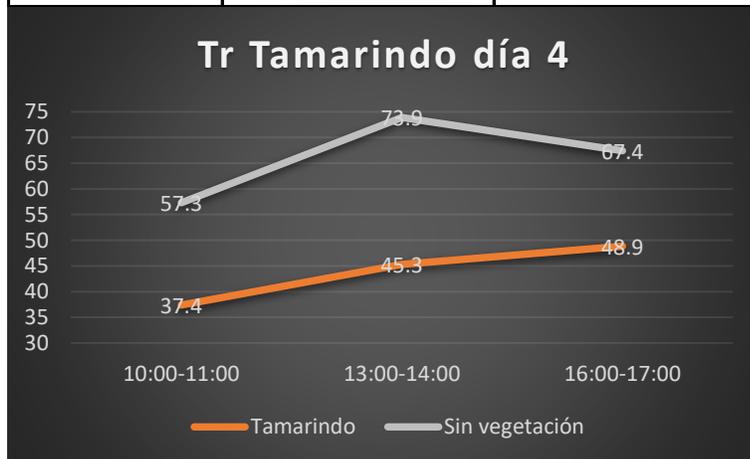
Zona: Paseo de Montejo

Tr	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	35.5	54.7
13:00-14:00	42.3	59.1
16:00-17:00	41.0	52.5



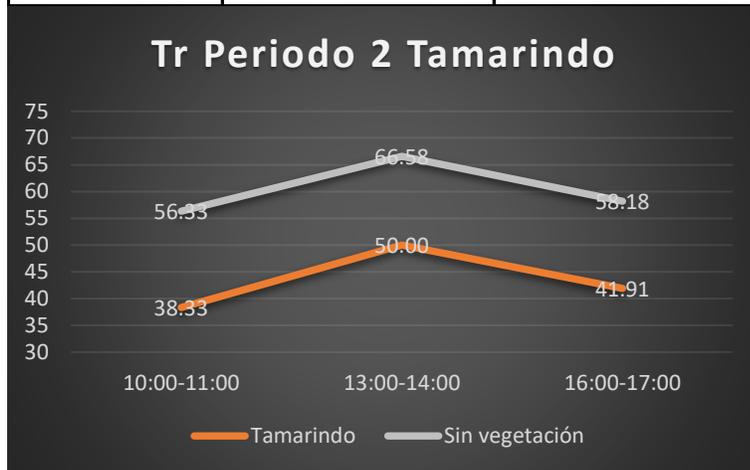
Zona: Paseo de Montejo

Tr	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	37.4	57.3
13:00-14:00	45.3	73.9
16:00-17:00	48.9	67.4

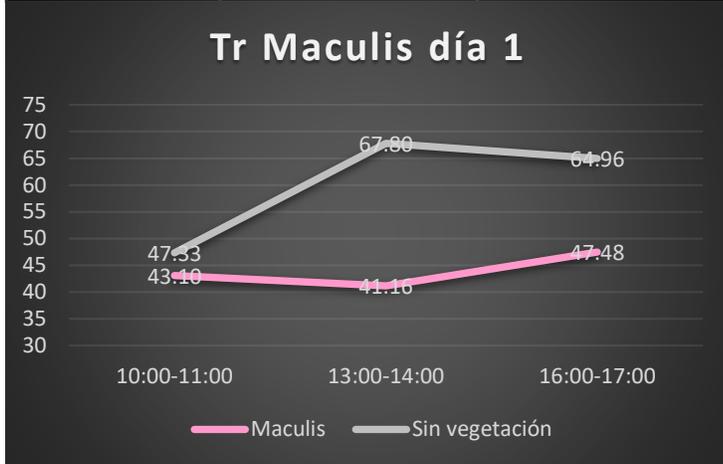


Zona: Paseo de Montejo

Tr	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	38.33	56.33
13:00-14:00	50.00	66.58
16:00-17:00	41.91	58.18

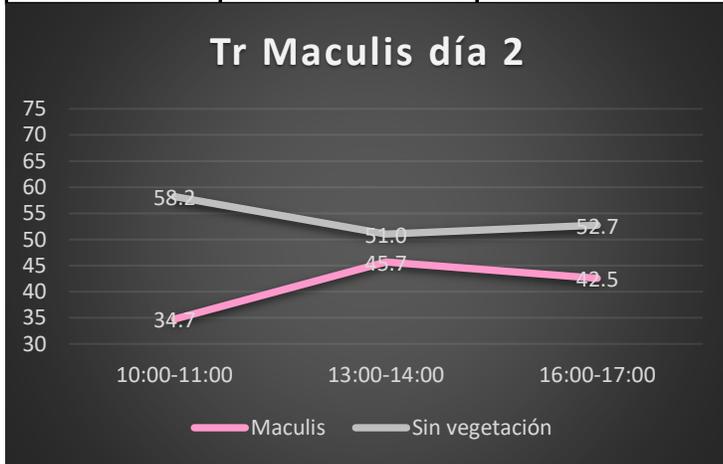


Tr	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	43.10	47.33
13:00-14:00	41.16	67.80
16:00-17:00	47.48	64.96



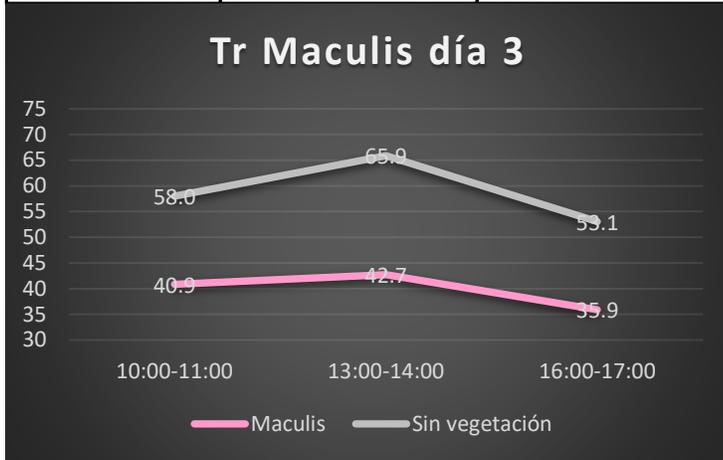
Zona: Av. Reforma

Tr	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	34.7	58.2
13:00-14:00	45.7	51.0
16:00-17:00	42.5	52.7



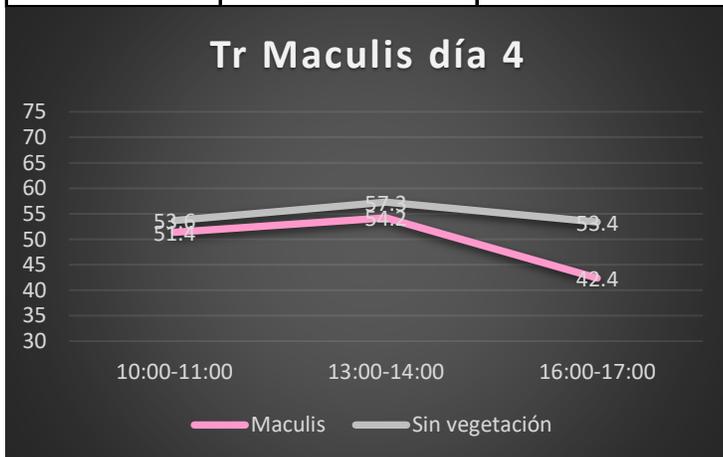
Zona: Av. Reforma

Tr	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	40.9	58.0
13:00-14:00	42.7	65.9
16:00-17:00	35.9	53.1



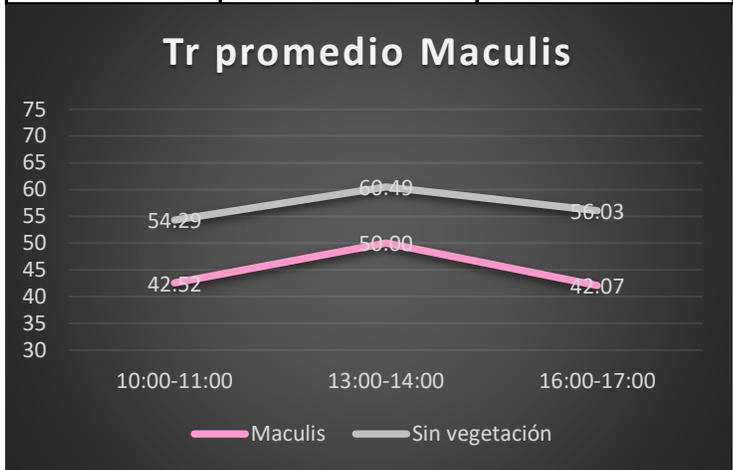
Zona: Av. Colón

Tr	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	51.4	53.6
13:00-14:00	54.2	57.3
16:00-17:00	42.4	53.4

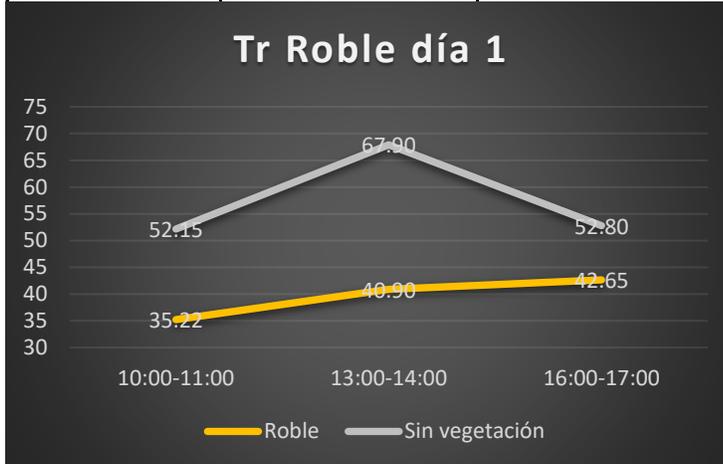


Zona: Av. Reforma

Tr	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	42.52	54.29
13:00-14:00	50.00	60.49
16:00-17:00	42.07	56.03

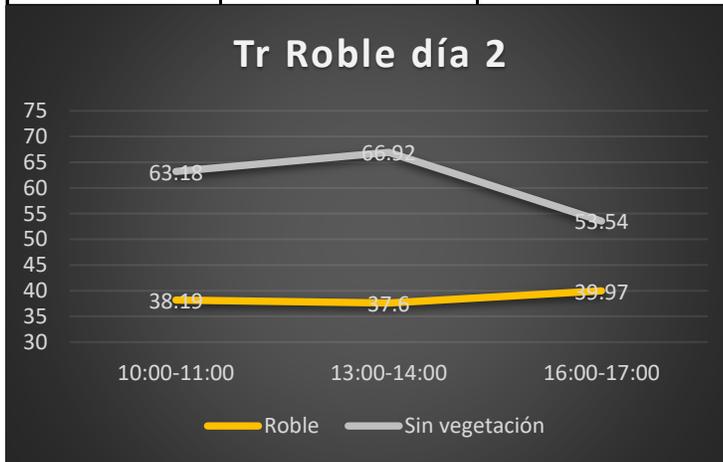


Tr	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	35.22	52.15
13:00-14:00	40.90	67.90
16:00-17:00	42.65	52.80



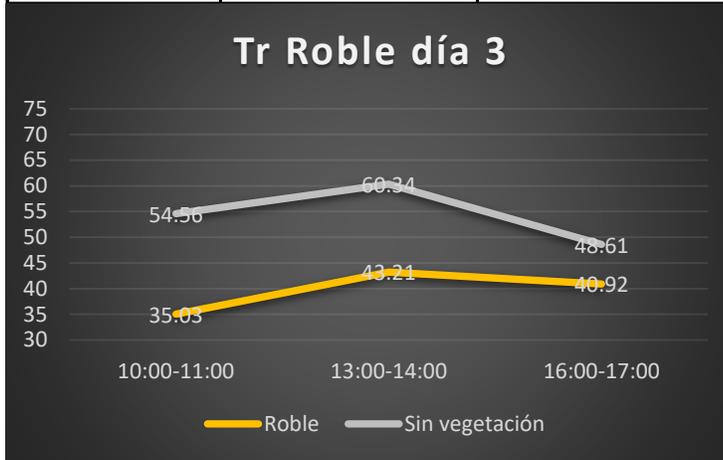
Zona: Av. Colón

Tr	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	38.19	63.18
13:00-14:00	37.6	66.92
16:00-17:00	39.97	53.54



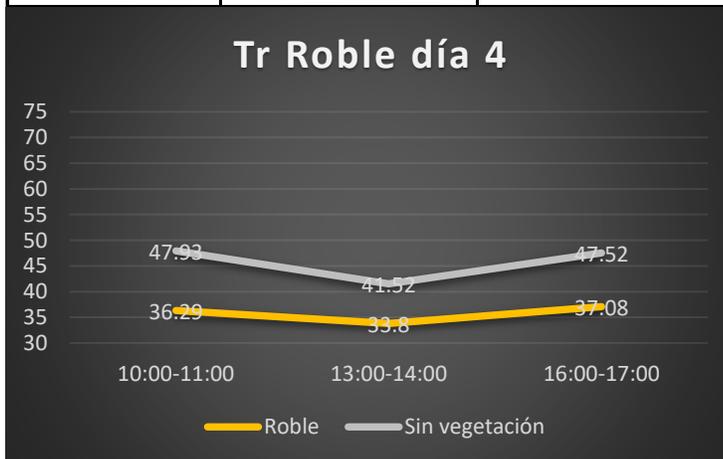
Zona: Av. Colón

Tr	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	35.03	54.56
13:00-14:00	43.21	60.34
16:00-17:00	40.92	48.61



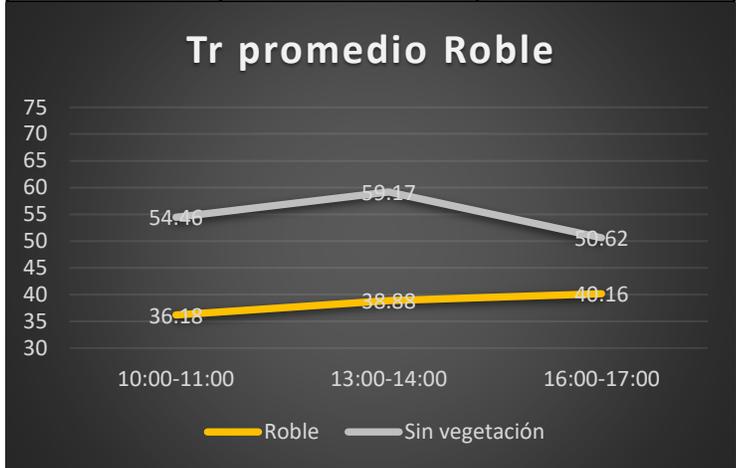
Zona: Av. Colón

Tr	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	36.29	47.93
13:00-14:00	33.8	41.52
16:00-17:00	37.08	47.52



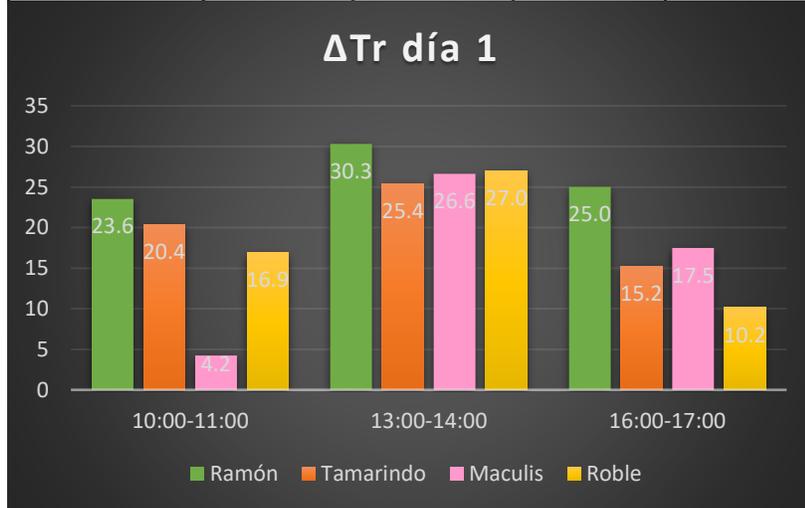
Zona: Av. Colón

Tr	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	36.18	54.46
13:00-14:00	38.88	59.17
16:00-17:00	40.16	50.62

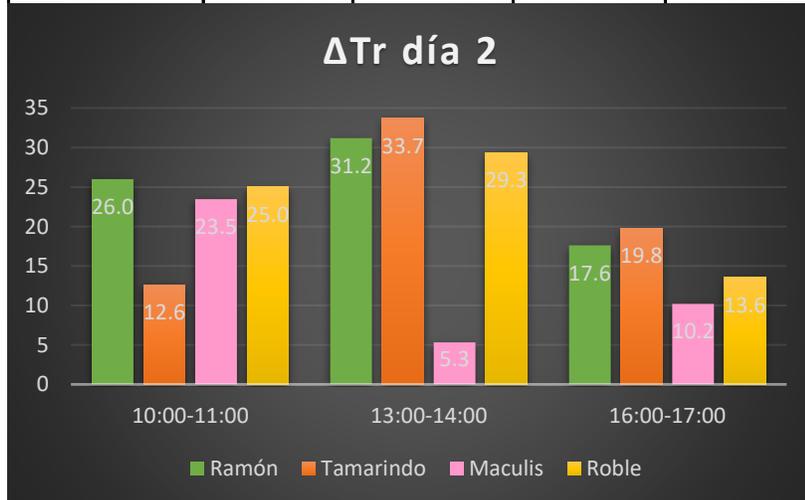


Diferencias promedio de temperatura radiante

Tr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	23.6	20.4	4.2	16.9
13:00-14:00	30.3	25.4	26.6	27.0
16:00-17:00	25.0	15.2	17.5	10.2

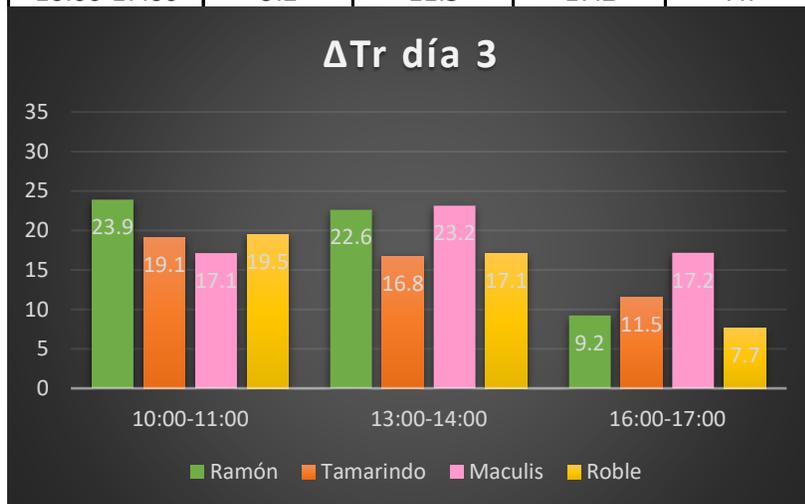


Tr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	26.0	12.6	23.5	25.0
13:00-14:00	31.2	33.7	5.3	29.3
16:00-17:00	17.6	19.8	10.2	13.6

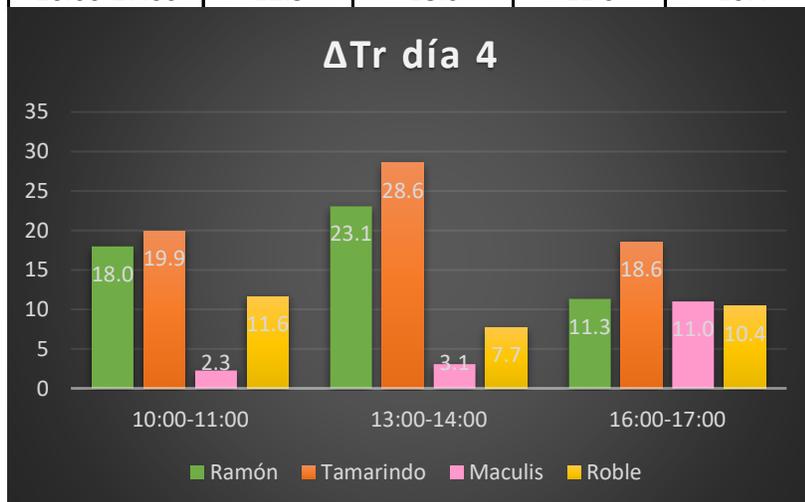


## Diferencias promedio de temperatura radiante

Tr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	23.9	19.1	17.1	19.5
13:00-14:00	22.6	16.8	23.2	17.1
16:00-17:00	9.2	11.5	17.2	7.7

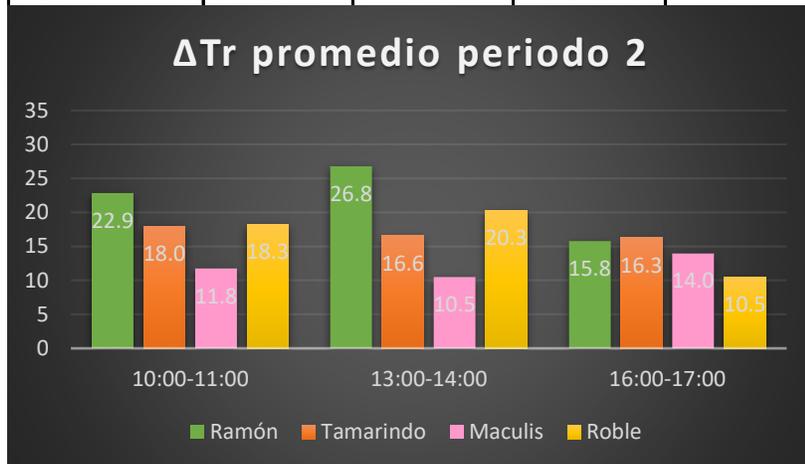


Tr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	18.0	19.9	2.3	11.6
13:00-14:00	23.1	28.6	3.1	7.7
16:00-17:00	11.3	18.6	11.0	10.4



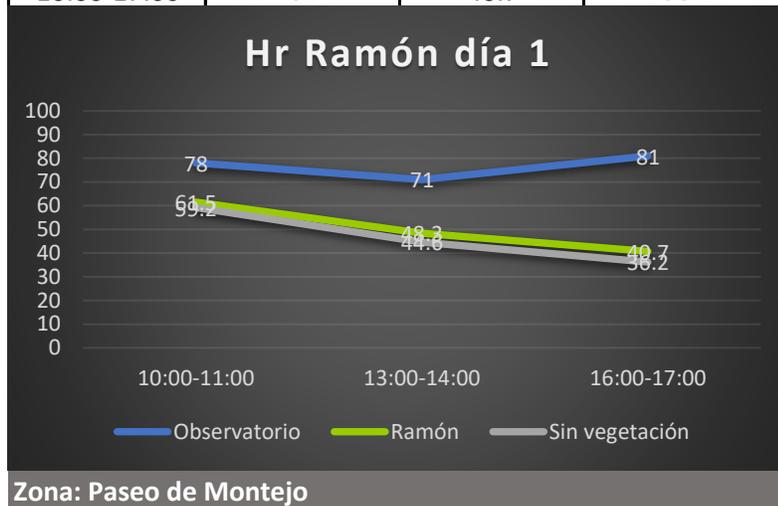
## Diferencias promedio de temperatura radiante

Tr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	22.9	18.0	11.8	18.3
13:00-14:00	26.8	16.6	10.5	20.3
16:00-17:00	15.8	16.3	14.0	10.5

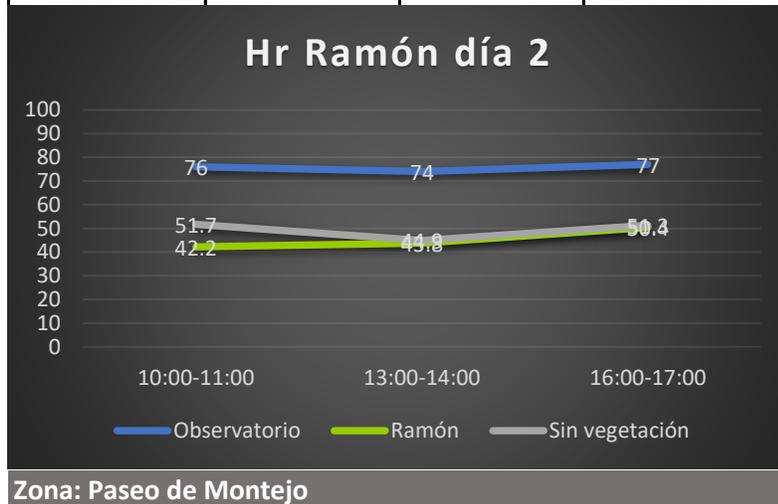


**Gráficas de temperatura radiante por día durante periodo cálido (periodo 1).**

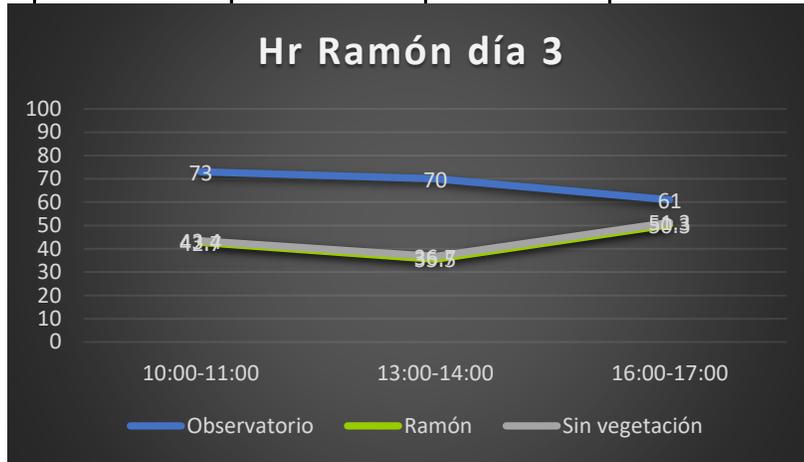
Hr	Observatorio	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	78	61.5	59.2
13:00-14:00	71	48.3	44.6
16:00-17:00	81	40.7	36.2



Hr	Observatorio	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	76	42.2	51.7
13:00-14:00	74	43.8	44.9
16:00-17:00	77	50.4	51.3

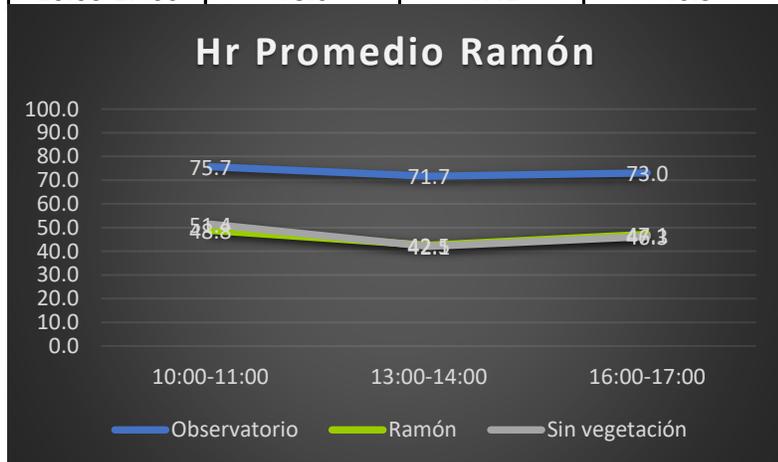


Hr	Observatorio	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	73	42.7	43.4
13:00-14:00	70	35.5	36.7
16:00-17:00	61	50.3	51.3

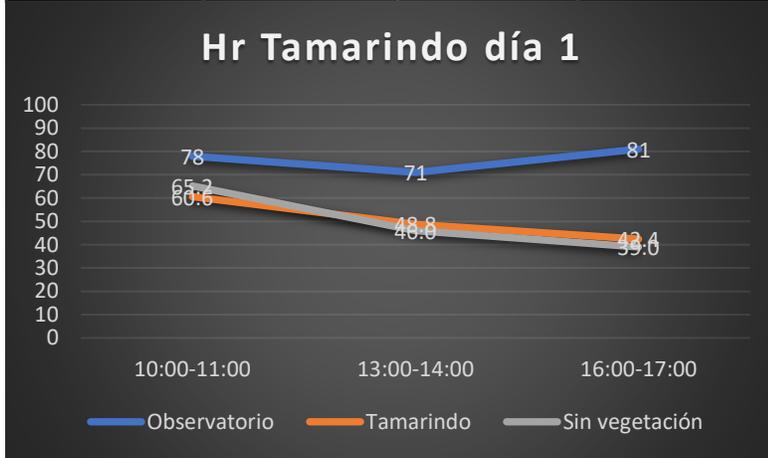


Zona: Paseo de Montejo

Hr	Observatorio	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	75.7	48.8	51.4
13:00-14:00	71.7	42.5	42.1
16:00-17:00	73.0	47.1	46.3

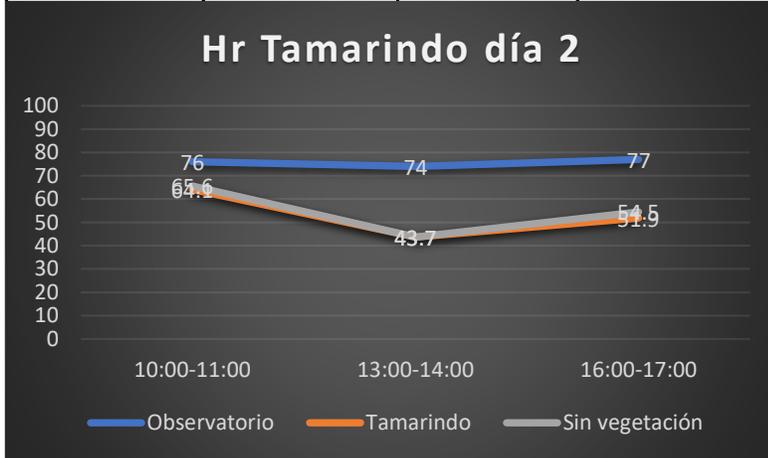


Hr	Observatorio	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	78	60.6	65.2
13:00-14:00	71	48.8	46.0
16:00-17:00	81	42.4	39.0



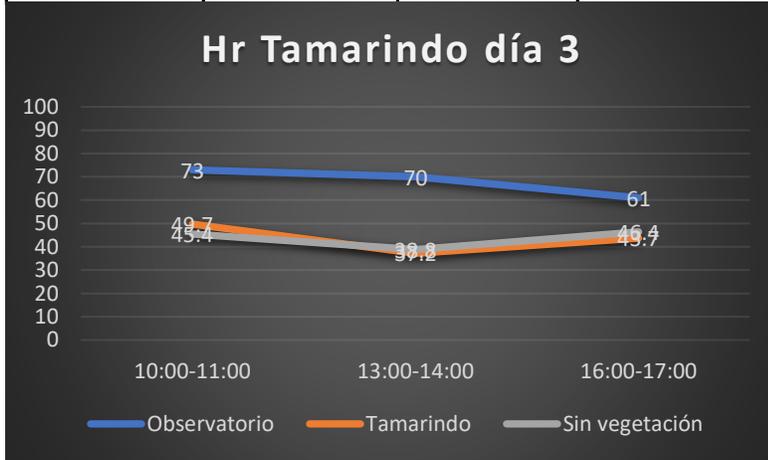
Zona: Paseo de Montejo

Hr	Observatorio	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	76	64.1	65.6
13:00-14:00	74	43.7	43.7
16:00-17:00	77	51.9	54.5



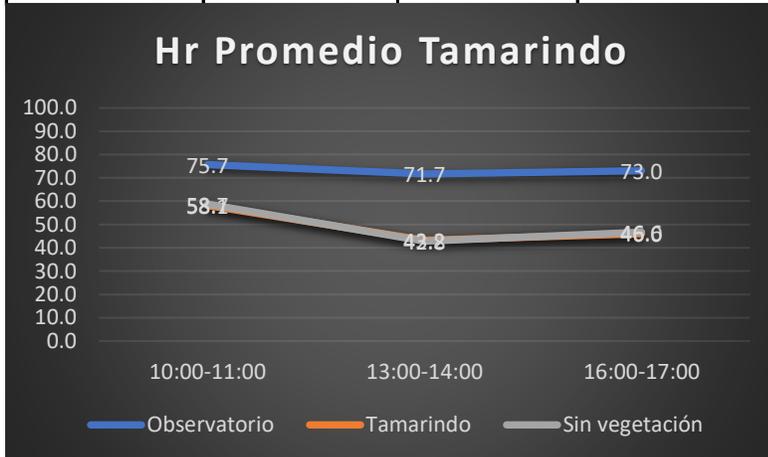
Zona: Av. Reforma

Hr	Observatorio	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	73	49.7	45.4
13:00-14:00	70	37.2	38.8
16:00-17:00	61	43.7	46.4

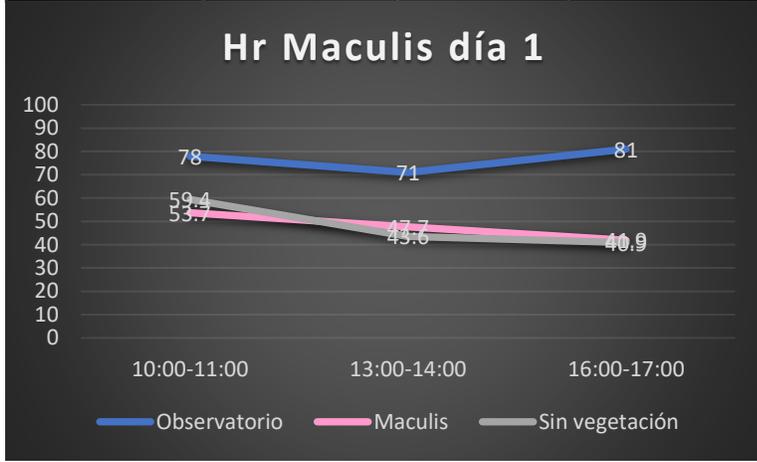


Zona: Paseo de Montejo

Hr	Observatorio	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	75.7	58.1	58.7
13:00-14:00	71.7	43.2	42.8
16:00-17:00	73.0	46.0	46.6

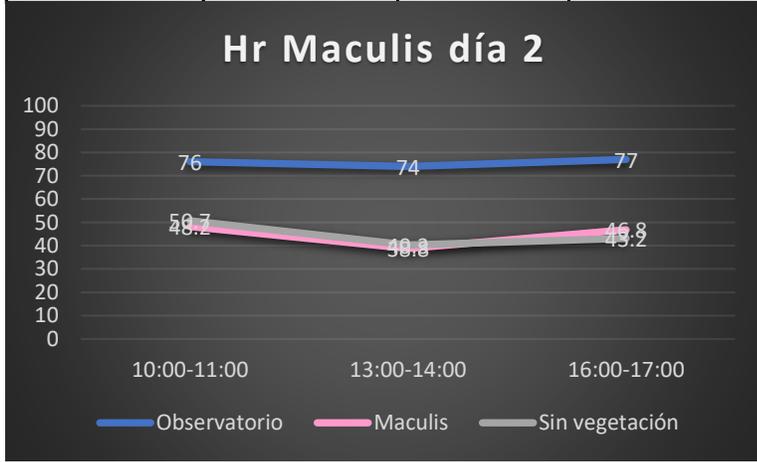


Hr	Observatorio	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	78	53.7	59.4
13:00-14:00	71	47.7	43.6
16:00-17:00	81	41.9	40.9



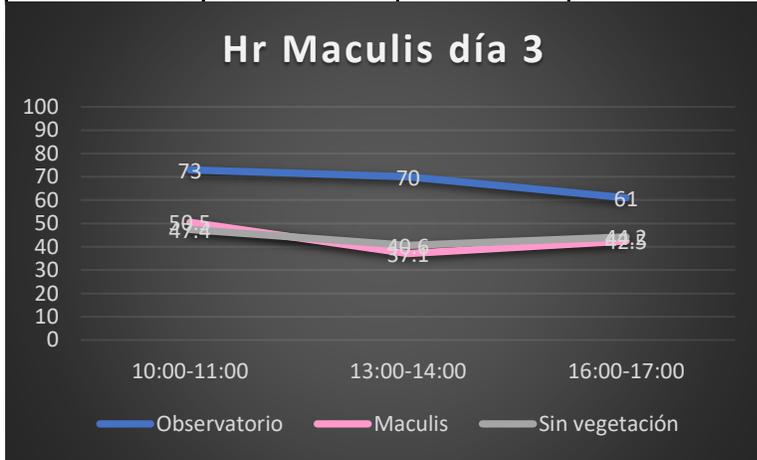
Zona: Av. Reforma

Hr	Observatorio	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	76	48.2	50.7
13:00-14:00	74	38.8	40.3
16:00-17:00	77	46.8	43.2



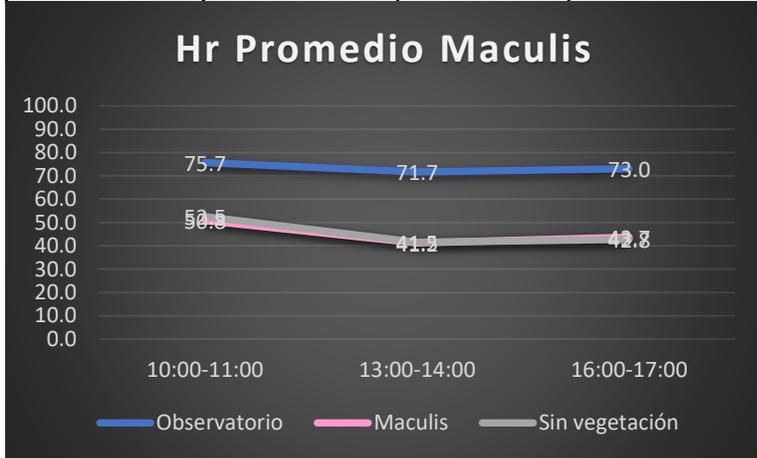
Zona: Av. Reforma

Hr	Observatorio	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	73	50.5	47.4
13:00-14:00	70	37.1	40.6
16:00-17:00	61	42.5	44.2

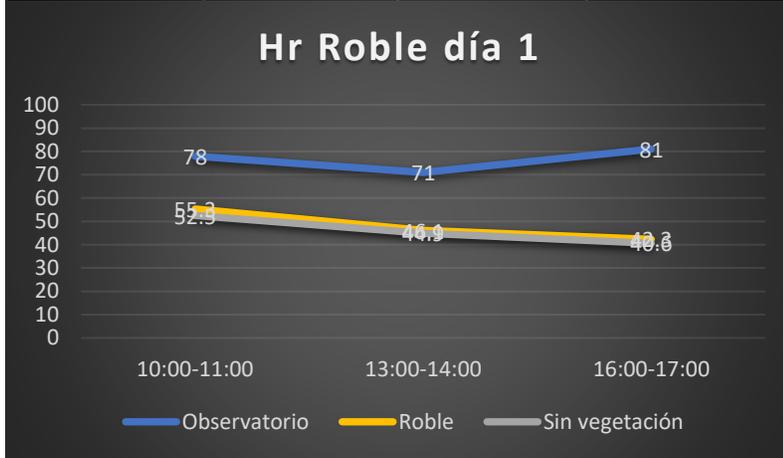


Zona: Av. Colón

Hr	Observatorio	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	75.7	50.8	52.5
13:00-14:00	71.7	41.2	41.5
16:00-17:00	73.0	43.7	42.8

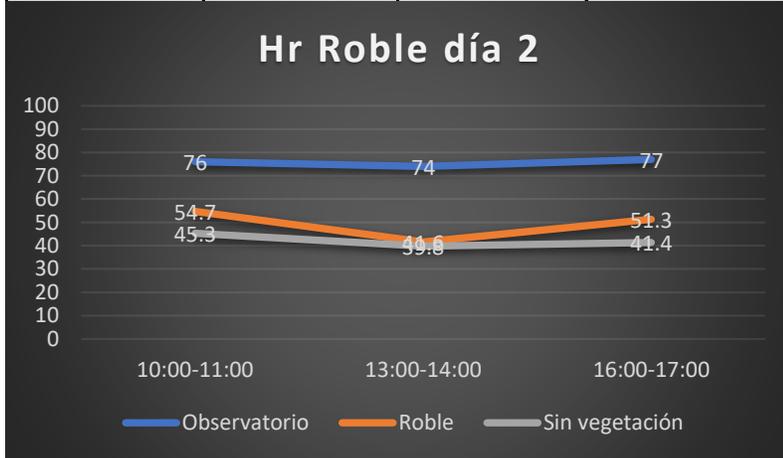


Hr	Observatorio	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	78	55.3	52.5
13:00-14:00	71	46.1	44.9
16:00-17:00	81	42.3	40.6



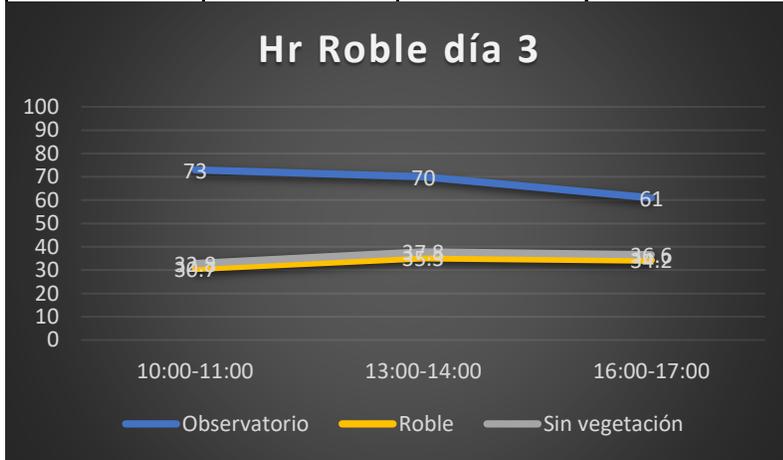
Zona: Av. Colón

Hr	Observatorio	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	76	54.7	45.3
13:00-14:00	74	41.6	39.8
16:00-17:00	77	51.3	41.4



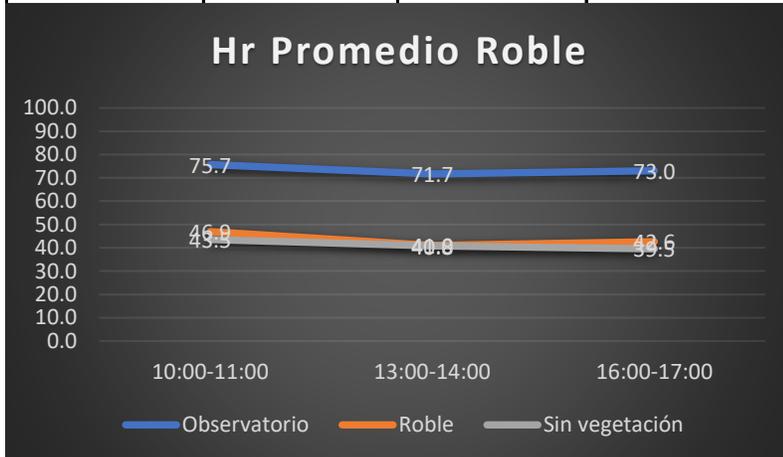
Zona: Av. Colón

Hr	Observatorio	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	73	30.7	32.8
13:00-14:00	70	35.3	37.8
16:00-17:00	61	34.2	36.6



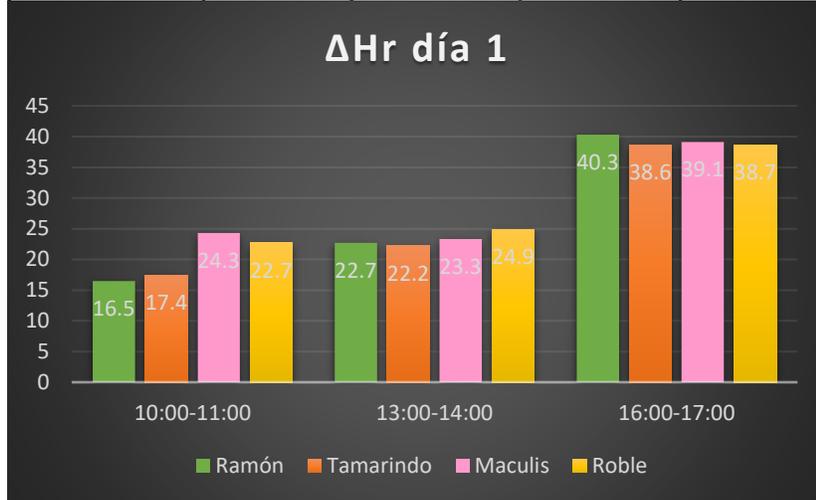
Zona: Av. Colón

Hr	Observatorio	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	75.7	46.9	43.5
13:00-14:00	71.7	41.0	40.8
16:00-17:00	73.0	42.6	39.5

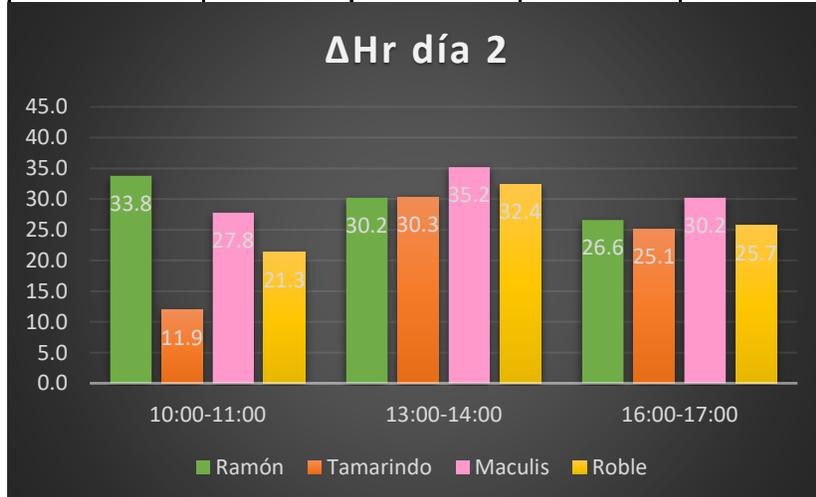


Diferencias promedio de humedad relativa (bajo el árbol, zona suburbana)

Hr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	16.5	17.4	24.3	22.7
13:00-14:00	22.7	22.2	23.3	24.9
16:00-17:00	40.3	38.6	39.1	38.7

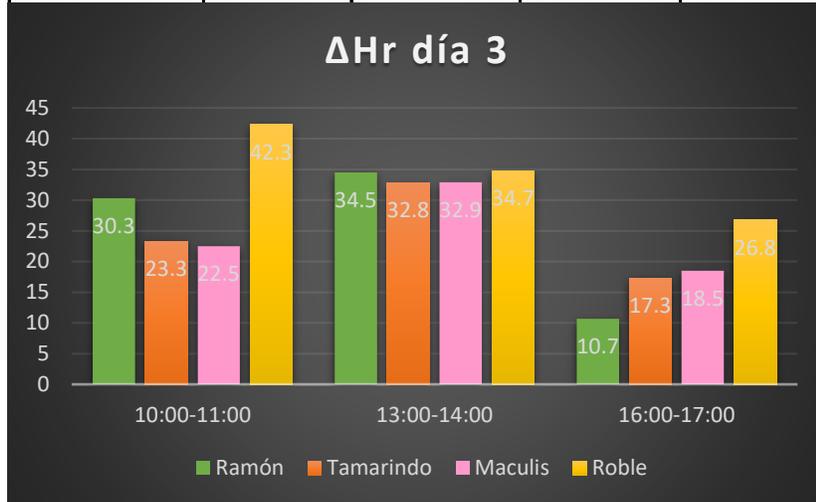


Hr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	33.8	11.9	27.8	21.3
13:00-14:00	30.2	30.3	35.2	32.4
16:00-17:00	26.6	25.1	30.2	25.7

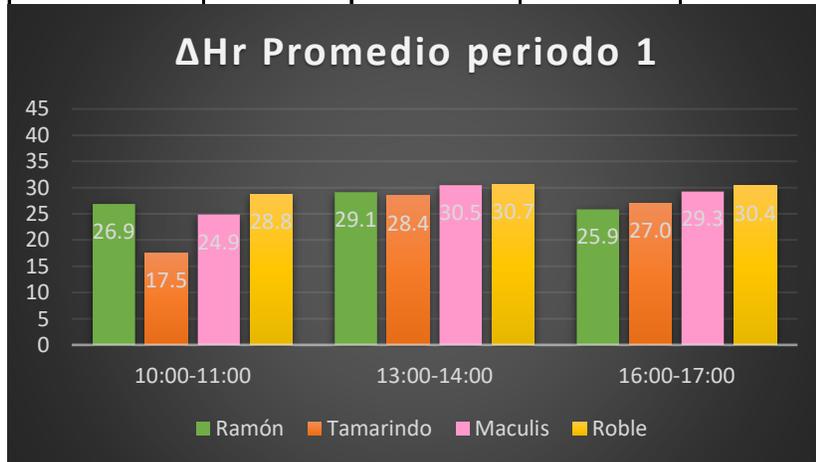


Diferencias promedio de humedad relativa (bajo el árbol, zona suburbana)

Hr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	30.3	23.3	22.5	42.3
13:00-14:00	34.5	32.8	32.9	34.7
16:00-17:00	10.7	17.3	18.5	26.8

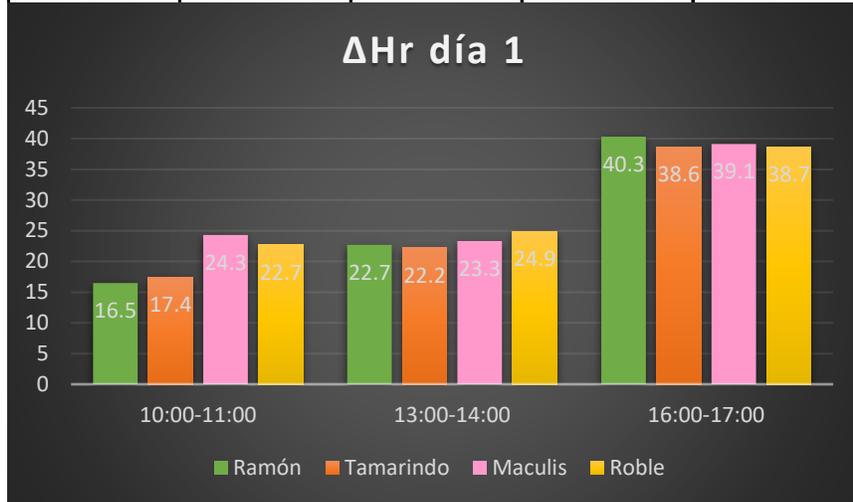


Hr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	26.9	17.5	24.9	28.8
13:00-14:00	29.1	28.4	30.5	30.7
16:00-17:00	25.9	27.0	29.3	30.4

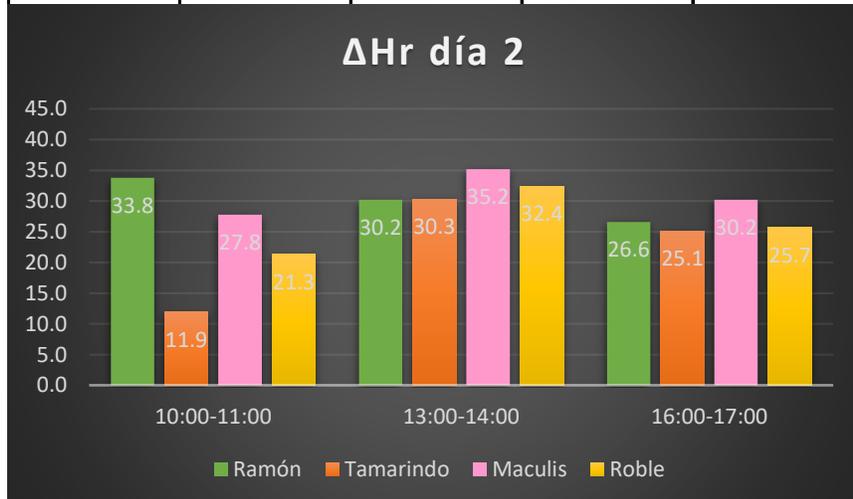


Diferencias promedio de humedad relativa respecto (bajo y fuera del árbol)

Hr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	2.3	-4.6	-5.7	2.8
13:00-14:00	3.7	2.8	4.1	1.2
16:00-17:00	4.5	3.4	1.0	1.7

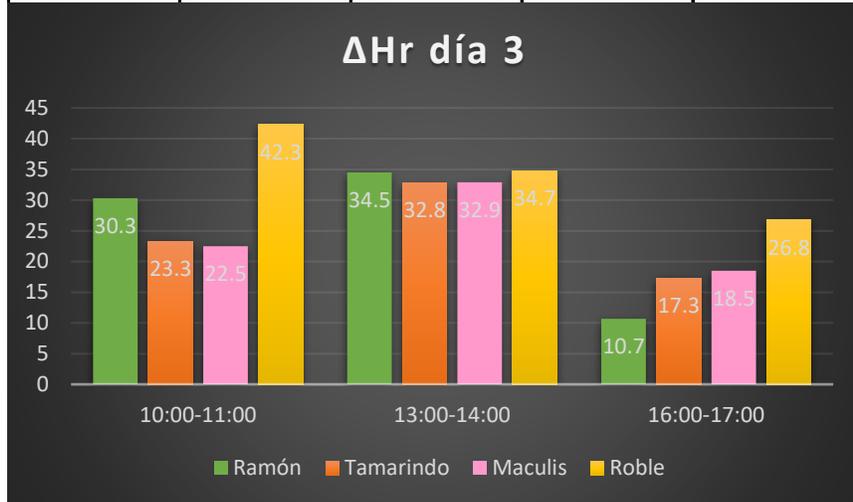


Hr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	-9.5	-1.5	-2.5	9.4
13:00-14:00	-1.1	0.0	-1.5	1.8
16:00-17:00	-0.9	-2.6	3.6	9.9

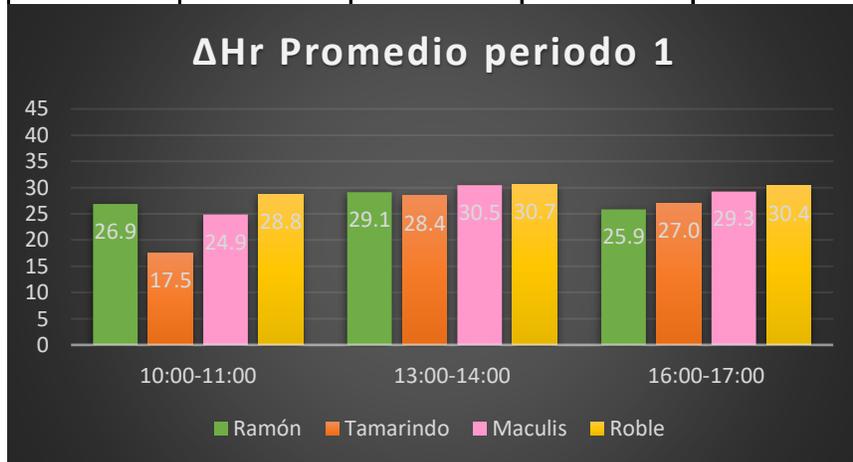


Diferencias promedio de humedad relativa respecto (bajo y fuera del árbol)

Hr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	-0.7	4.3	3.1	-2.1
13:00-14:00	-1.2	-1.6	-3.5	-2.5
16:00-17:00	-1.0	-2.7	-1.7	-2.4

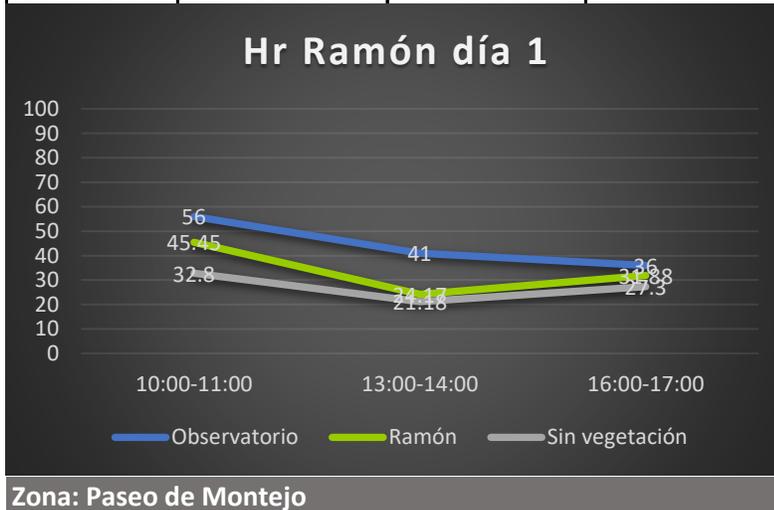


Hr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	-2.6	-0.6	-1.7	3.4
13:00-14:00	0.5	0.4	-0.3	0.2
16:00-17:00	0.9	-0.6	1.0	3.1

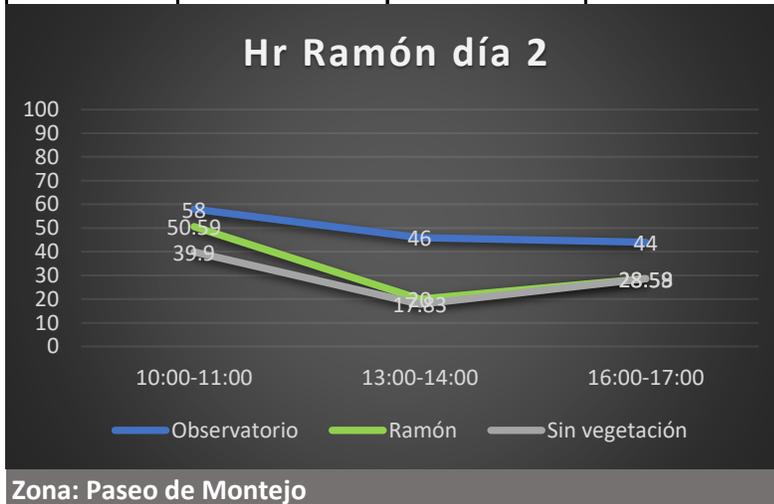


**Gráficas de temperatura radiante por día durante periodo cálido seco (periodo 2).**

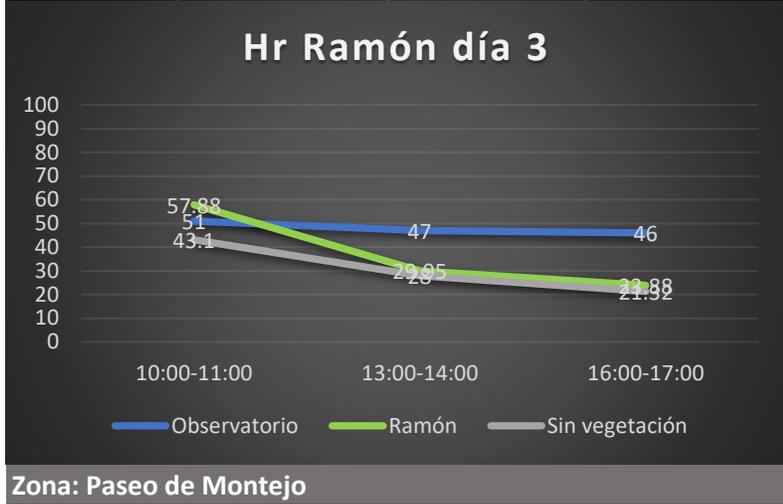
Hr	Observatorio	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	56	45.45	32.8
13:00-14:00	41	24.17	21.18
16:00-17:00	36	31.88	27.3



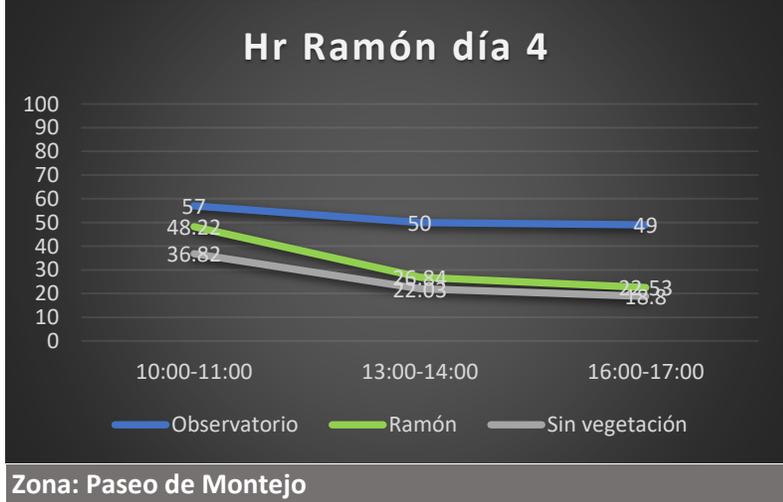
Hr	Observatorio	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	58	50.59	39.9
13:00-14:00	46	20	17.83
16:00-17:00	44	28.59	28.58



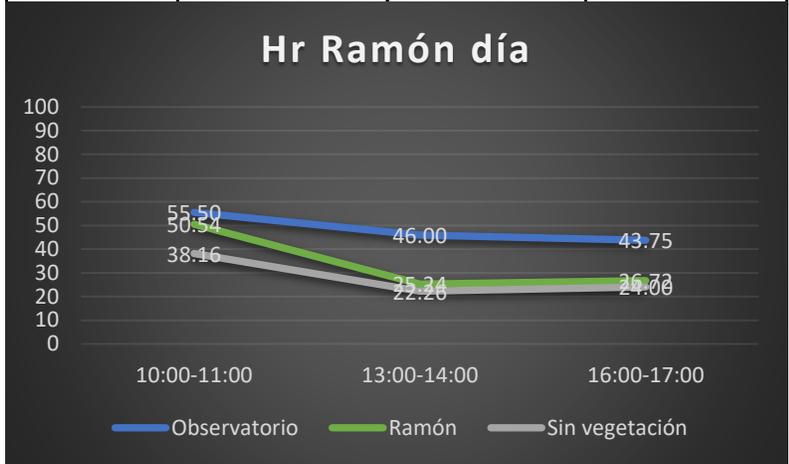
Hr	Observatorio	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	51	57.88	43.1
13:00-14:00	47	29.95	28
16:00-17:00	46	23.88	21.32



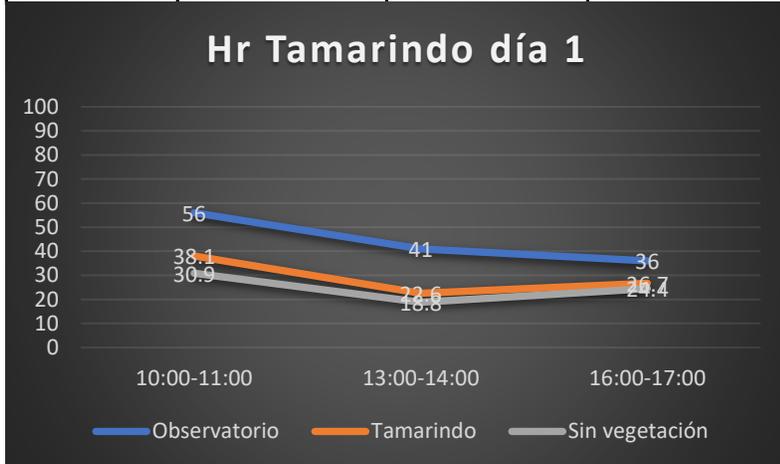
Hr	Observatorio	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	57	48.22	36.82
13:00-14:00	50	26.84	22.03
16:00-17:00	49	22.53	18.8



Hr	Observatorio	Ramón	Sin vegetación
10:00-11:00	55.50	50.54	38.16
13:00-14:00	46.00	25.24	22.26
16:00-17:00	43.75	26.72	24.00

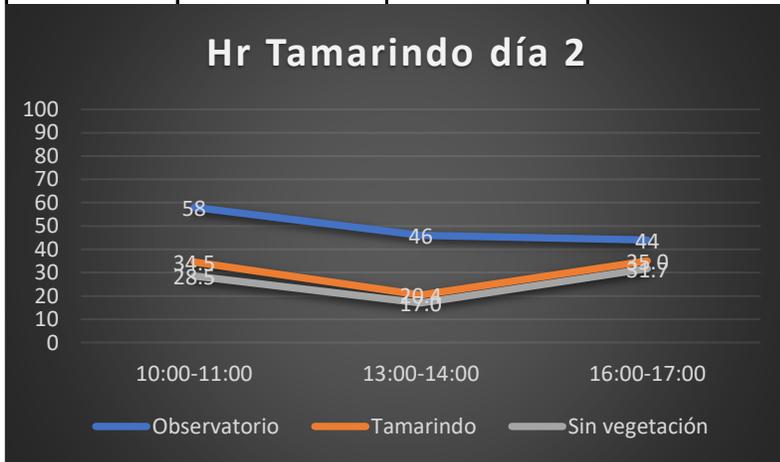


Hr	Observatorio	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	56	38.1	30.9
13:00-14:00	41	22.6	18.8
16:00-17:00	36	26.7	24.4



Zona: Paseo de Montejo

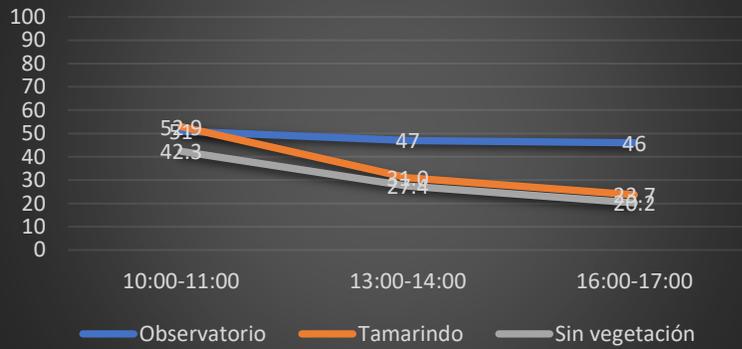
Hr	Observatorio	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	58	34.5	28.5
13:00-14:00	46	20.4	17.0
16:00-17:00	44	35.0	31.7



Zona: Reforma

Hr	Observatorio	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	51	52.9	42.3
13:00-14:00	47	31.0	27.4
16:00-17:00	46	23.7	20.2

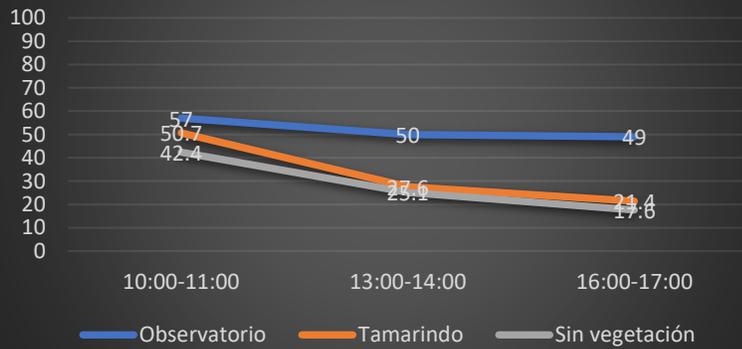
### Hr Tamarindo día 3



Zona: Paseo de Montejo

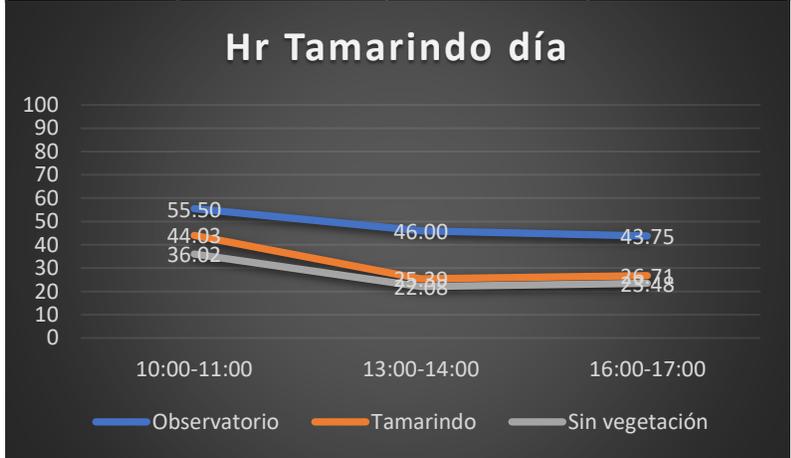
Hr	Observatorio	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	57	50.7	42.4
13:00-14:00	50	27.6	25.1
16:00-17:00	49	21.4	17.6

### Hr Tamarindo día 4

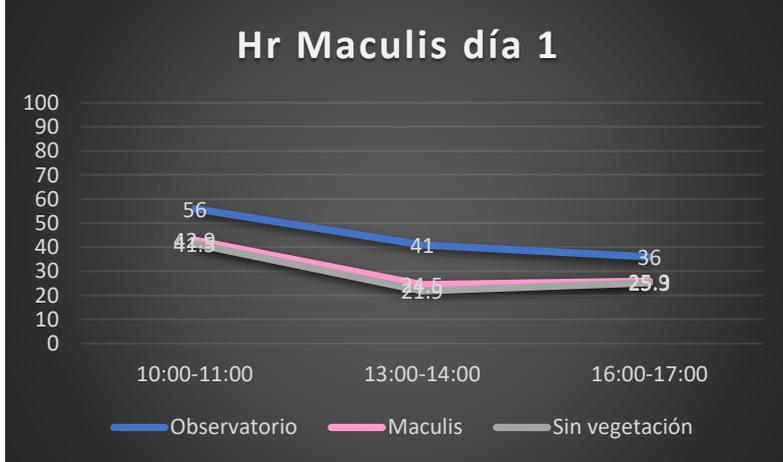


Zona: Paseo de Montejo

Hr	Observatorio	Tamarindo	Sin vegetación
10:00-11:00	55.50	44.03	36.02
13:00-14:00	46.00	25.39	22.08
16:00-17:00	43.75	26.71	23.48

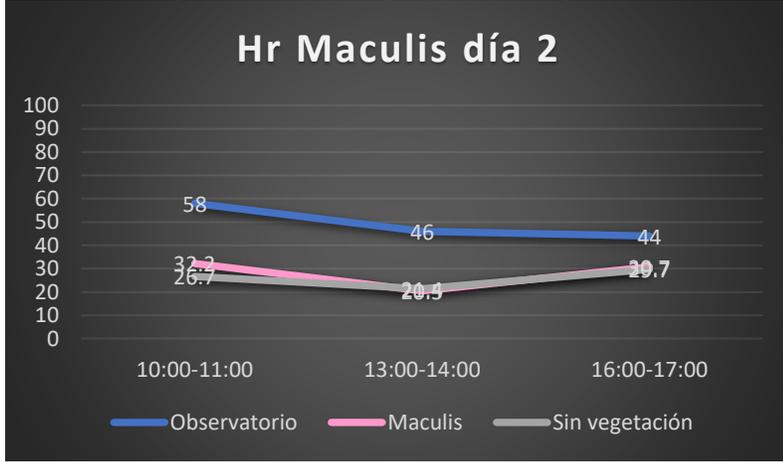


Hr	Observatorio	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	56	42.9	41.5
13:00-14:00	41	24.5	21.9
16:00-17:00	36	25.9	25.3



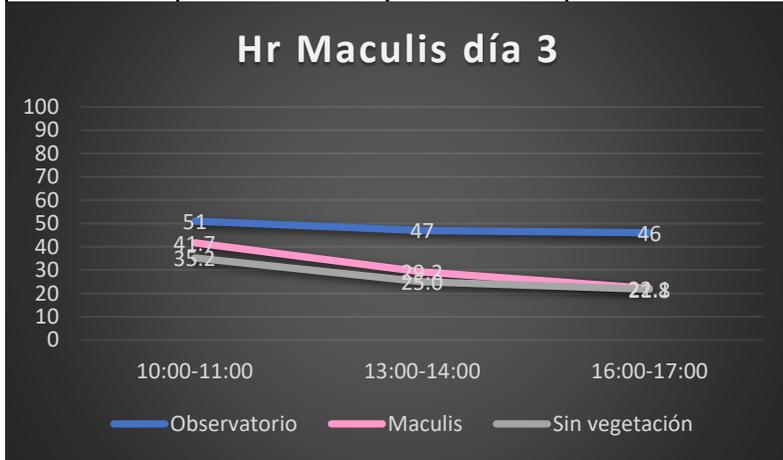
Zona: Av. Reforma

Hr	Observatorio	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	58	32.2	26.7
13:00-14:00	46	20.5	21.4
16:00-17:00	44	30.7	29.7



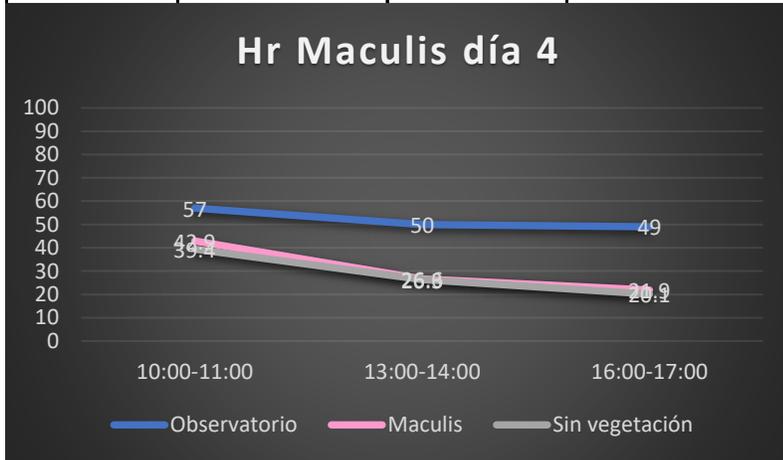
Zona: Av. Reforma

Hr	Observatorio	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	51	41.7	35.2
13:00-14:00	47	29.2	25.0
16:00-17:00	46	22.1	21.8



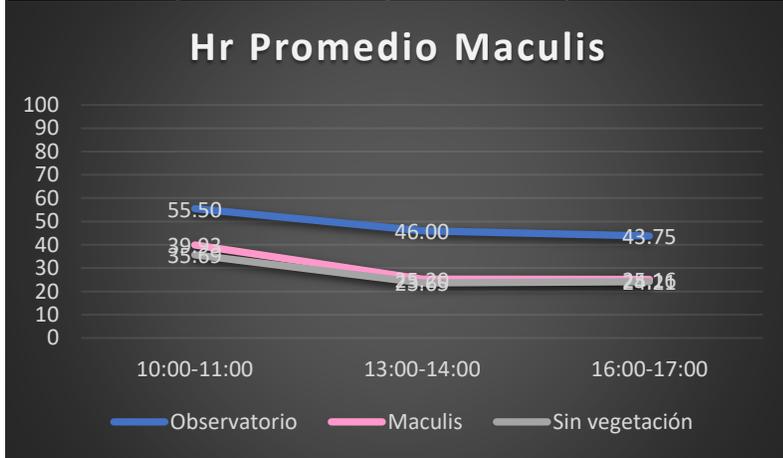
Zona: Av. Colón

Hr	Observatorio	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	57	42.9	39.4
13:00-14:00	50	26.6	26.3
16:00-17:00	49	21.9	20.1



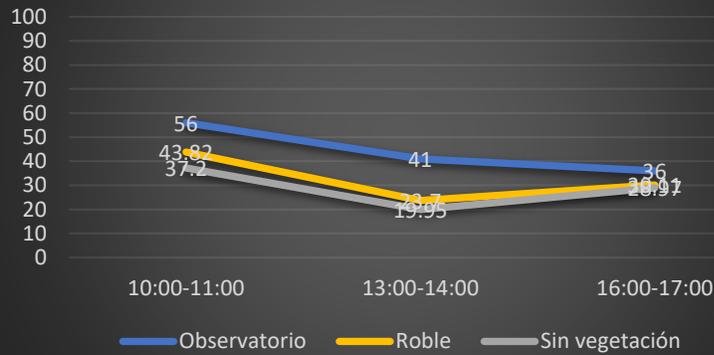
Zona: Av. Reforma

Hr	Observatorio	Maculis	Sin vegetación
10:00-11:00	55.50	39.93	35.69
13:00-14:00	46.00	25.20	23.65
16:00-17:00	43.75	25.16	24.21



Hr	Observatorio	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	56	43.82	37.2
13:00-14:00	41	23.7	19.95
16:00-17:00	36	30.11	28.97

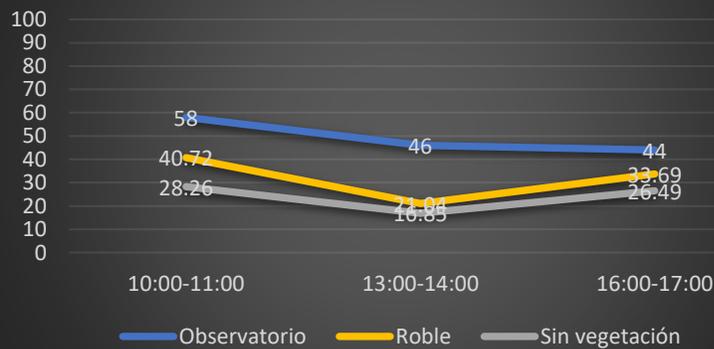
### Hr Roble día 1



Zona: Av. Colón

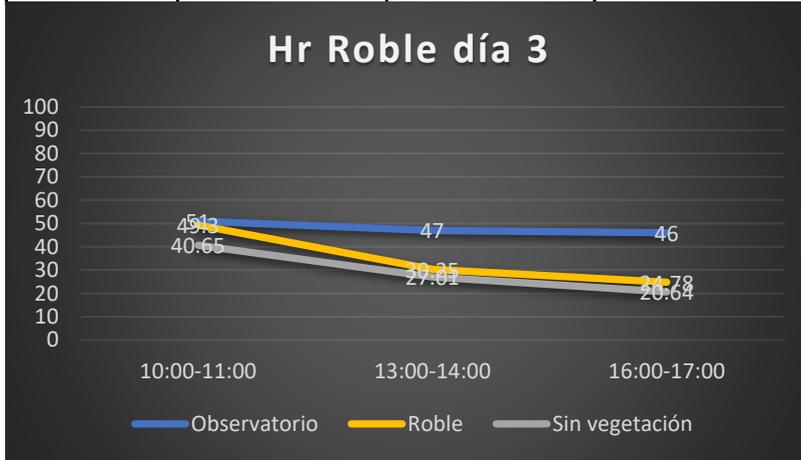
Hr	Observatorio	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	58	40.72	28.26
13:00-14:00	46	21.04	16.85
16:00-17:00	44	33.69	26.49

### Hr Roble día 2



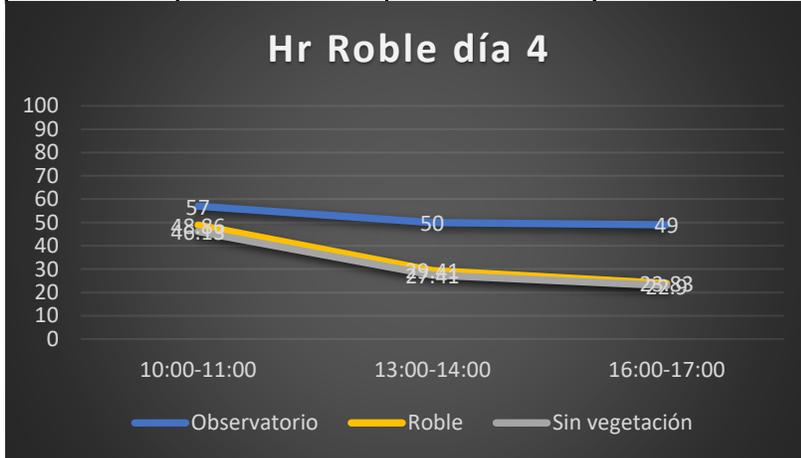
Zona: Av. Colón

Hr	Observatorio	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	51	49.3	40.65
13:00-14:00	47	30.25	27.01
16:00-17:00	46	24.78	20.64



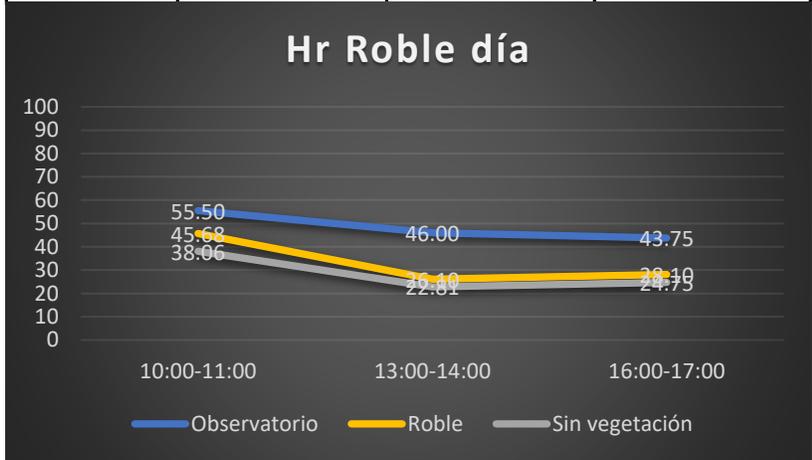
Zona: Av. Colón

Hr	Observatorio	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	57	48.86	46.13
13:00-14:00	50	29.41	27.41
16:00-17:00	49	23.83	22.9



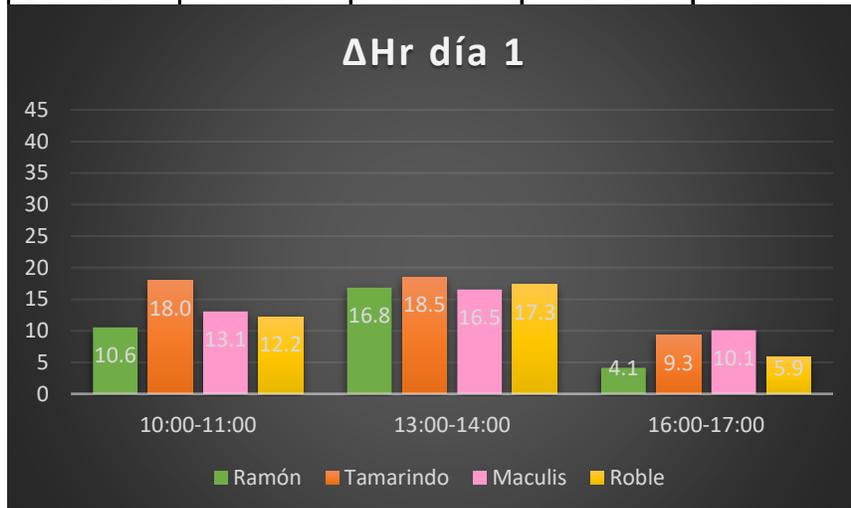
Zona: Av. Colón

Hr	Observatorio	Roble	Sin vegetación
10:00-11:00	55.50	45.68	38.06
13:00-14:00	46.00	26.10	22.81
16:00-17:00	43.75	28.10	24.75

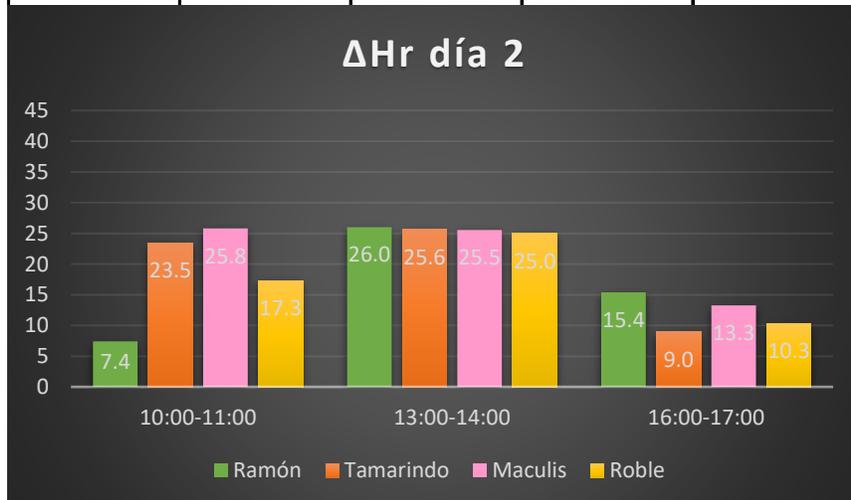


Diferencias promedio de humedad relativa (bajo el árbol, zona suburbana)

Hr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	10.6	18.0	13.1	12.2
13:00-14:00	16.8	18.5	16.5	17.3
16:00-17:00	4.1	9.3	10.1	5.9

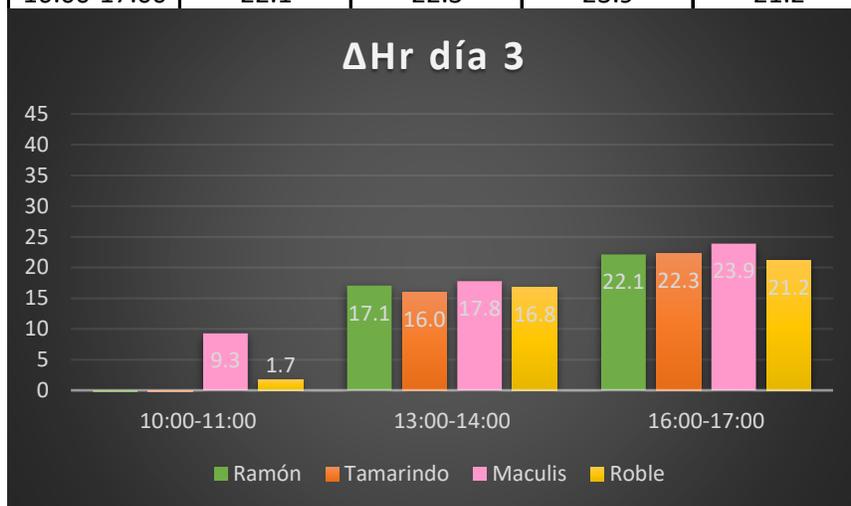


Hr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	7.4	23.5	25.8	17.3
13:00-14:00	26.0	25.6	25.5	25.0
16:00-17:00	15.4	9.0	13.3	10.3

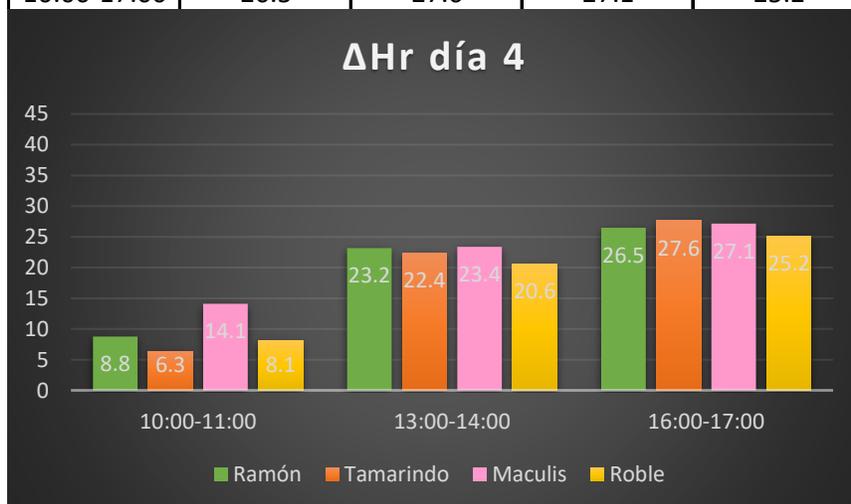


Diferencias promedio de humedad relativa (bajo el árbol, zona suburbana)

Hr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	-6.9	-1.9	9.3	1.7
13:00-14:00	17.1	16.0	17.8	16.8
16:00-17:00	22.1	22.3	23.9	21.2

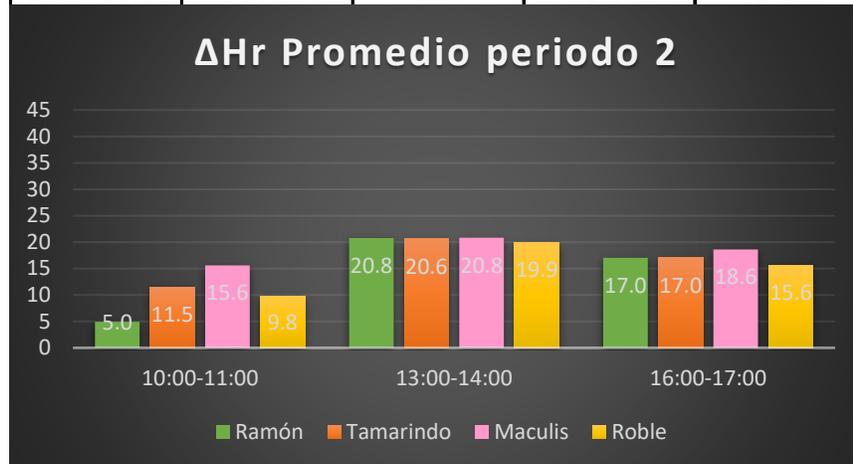


Hr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	8.8	6.3	14.1	8.1
13:00-14:00	23.2	22.4	23.4	20.6
16:00-17:00	26.5	27.6	27.1	25.2



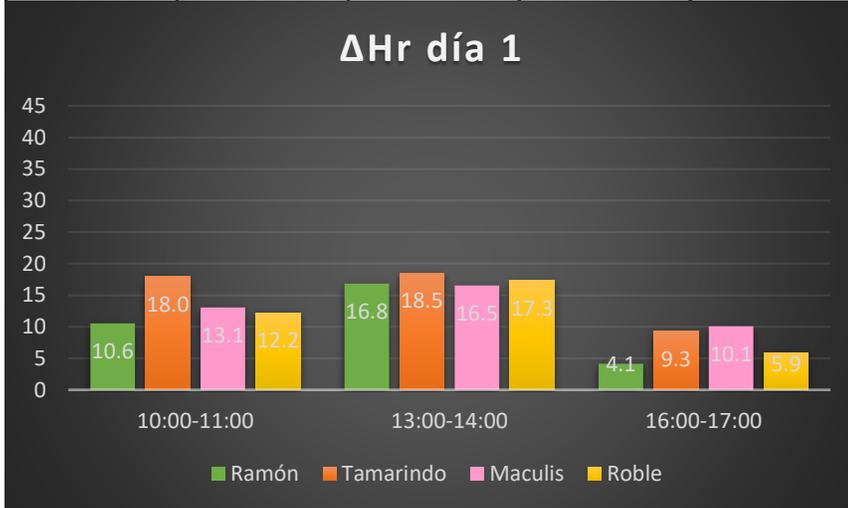
Diferencias promedio de humedad relativa (bajo el árbol, zona suburbana)

Hr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	5.0	11.5	15.6	9.8
13:00-14:00	20.8	20.6	20.8	19.9
16:00-17:00	17.0	17.0	18.6	15.6

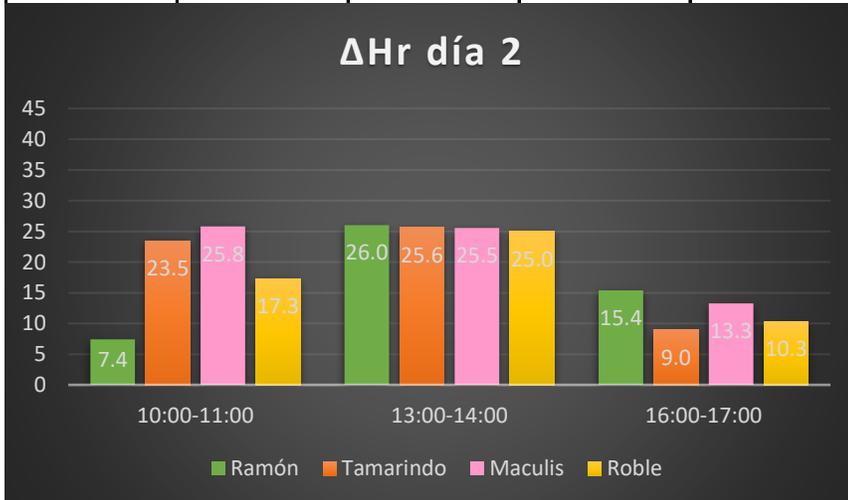


Diferencias promedio de humedad relativa respecto (bajo y fuera del árbol)

Hr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	12.7	7.2	1.5	6.6
13:00-14:00	3.0	3.7	2.6	3.8
16:00-17:00	4.6	2.3	0.7	1.1

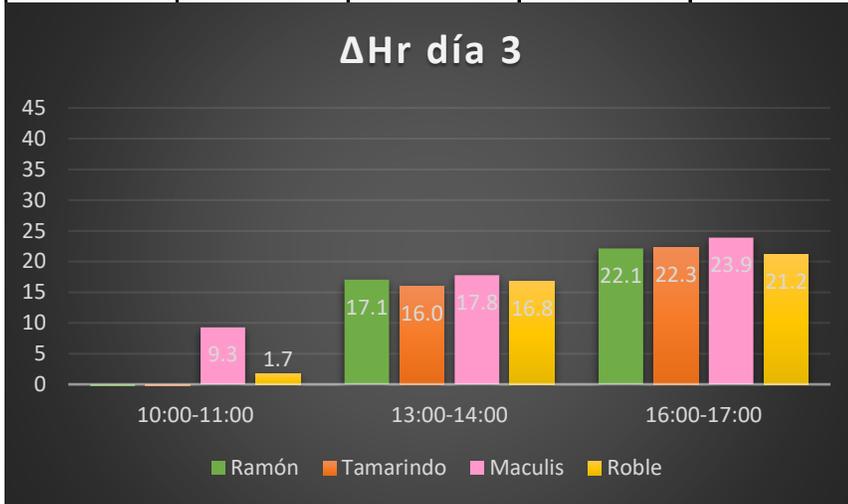


Hr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	10.7	6.0	5.5	12.5
13:00-14:00	2.2	3.4	-0.9	4.2
16:00-17:00	0.0	3.3	1.0	7.2

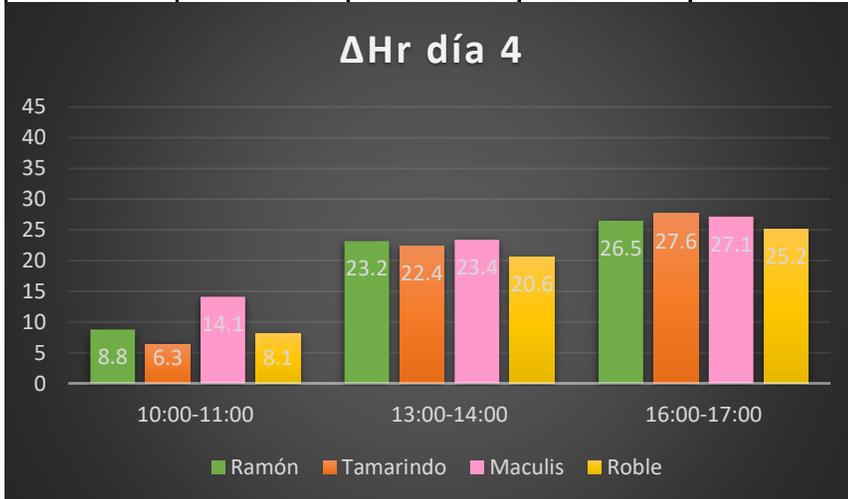


Diferencias promedio de humedad relativa respecto (bajo y fuera del árbol)

Hr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	14.8	10.6	6.5	8.7
13:00-14:00	2.0	3.6	4.2	3.2
16:00-17:00	2.6	3.5	0.4	4.1

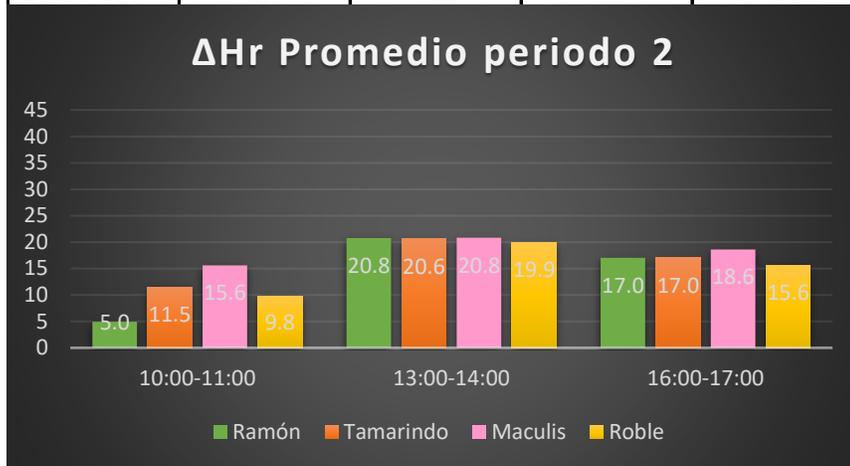


Hr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	11.4	8.3	3.5	2.7
13:00-14:00	4.8	2.5	0.4	2.0
16:00-17:00	3.7	3.8	1.7	0.9



Diferencias promedio de húmedad relativa respecto (bajo y fuera del árbol)

Hr	Ramón	Tamarindo	Maculis	Roble
10:00-11:00	12.4	8.0	4.2	7.6
13:00-14:00	3.0	3.3	1.6	3.3
16:00-17:00	2.7	3.2	0.9	3.4



## Evaluación de ambientes térmicos con índice de confort.

### Periodo 1. Cálido húmedo

Índice de confort		
Ramon periodo 1		10:00 a. m.
PMV with elevated air	1.58	2.74
PPD with elevated air	55 %	97 %
Sensation	Warm	Hot
SET	32.9 °C	36.7 °C
		01:00 p. m.
PMV with elevated air	1.92	3.19
PPD with elevated air	73 %	100 %
Sensation	Warm	Hot
SET	34.0 °C	37.6 °C
		04:00 p. m.
PMV with elevated air	1.76	3.07
PPD with elevated air	65 %	99 %
Sensation	Warm	Hot
SET	33.6 °C	37.4 °C

42%
3.8
27%
3.6
34%
3.8

Índice de confort		
Roble periodo 1		10:00 a. m.
PMV with elevated air	1.51	2.63
PPD with elevated air	52 %	96 %
Sensation	Warm	Hot
SET	32.6 °C	35.8 °C
		01:00 p. m.
PMV with elevated air	2.09	3.18
PPD with elevated air	80 %	100 %
Sensation	Warm	Hot
SET	34.6 °C	37.6 °C
		04:00 p. m.
PMV with elevated air	1.97	3
PPD with elevated air	76 %	99 %
Sensation	Warm	Hot
SET	34.3 °C	37.0 °C

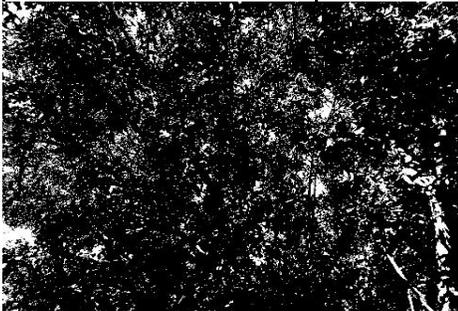
44%
3.2
20%
3
23%
2.7

Transmitancia Periodo 1	
Ramón ( <i>Brosimum alicastrum</i> )	
Promedio	%
transmitancia	14%
frondosidad	86%

$\Delta$
34%
3.73

Transmitancia Periodo 1	
Roble ( <i>Ehretia tinifolia</i> )	
Promedio	%
transmitancia	16%
frondosidad	84%

$\Delta$
29%
2.97



Índice de confort		
Tamarindo periodo 1		10:00 a. m.
PMV with elevated air	1.66	2.76
PPD with elevated air	59 %	97 %
Sensation	Warm	Hot
SET	33.6 °C	36.9 °C
		01:00 p. m.
PMV with elevated air	1.83	3.03
PPD with elevated air	68 %	99 %
Sensation	Warm	Hot
SET	33.7 °C	37.1 °C
		04:00 p. m.
PMV with elevated air	1.77	2.95
PPD with elevated air	65 %	99 %
Sensation	Warm	Hot
SET	33.6 °C	37.1 °C

38%
3.3
31%
3.4
34%
3.5

Índice de confort		
Maculis periodo 1 día		10:00 a. m.
PMV with elevated air	1.67	2.72
PPD with elevated air	60 %	97 %
Sensation	Warm	Hot
SET	33.4 °C	36.6 °C
		01:00 p. m.
PMV with elevated air	2.47	3.05
PPD with elevated air	93 %	99 %
Sensation	Warm	Hot
SET	35.2 °C	37.1 °C
		04:00 p. m.
PMV with elevated air	1.87	2.82
PPD with elevated air	71 %	98 %
Sensation	Warm	Hot
SET	33.9 °C	36.5 °C

37%
3.2
6%
1.9
27%
2.6

Transmitancia Periodo 1	
Tamarindo ( <i>Tamarindus indica</i> )	
Promedio	%
transmitancia	17%
frondosidad	83%

Δ
34%
3.40

Transmitancia Periodo 1	
Maculis ( <i>Tabebuia Rosea</i> )	
Promedio	%
transmitancia	25%
frondosidad	75%

Δ
23%
2.57



## Evaluación de ambientes térmicos con índice de confort.

### Periodo 2. Cálido seco

Índice de confort		
Ramón periodo 2		10:00 a. m.
PMV with elevated air	1.52	2.75
PPD with elevated air	52 %	97 %
Sensation	Warm	Hot
SET	32.6 °C	36.2 °C
		01:00 p. m.
PMV with elevated air	2.07	4.37
PPD with elevated air	80 %	100 %
Sensation	Warm	Hot
SET	33.8 °C	40.0 °C
		04:00 p. m.
PMV with elevated air	2.19	3.88
PPD with elevated air	84 %	100 %
Sensation	Warm	Hot
SET	34.3 °C	38.6 °C

Dif
45%
3.6
Dif
20%
6.2
Dif
16%
4.3

Índice de confort		
Roble periodo 2		10:00 a. m.
PMV with elevated air	1.67	2.84
PPD with elevated air	60 %	98 %
Sensation	Warm	Hot
SET	33.2 °C	36.4 °C
		01:00 p. m.
PMV with elevated air	2.08	3.57
PPD with elevated air	80 %	100 %
Sensation	Warm	Hot
SET	33.9 °C	37.7 °C
		04:00 p. m.
PMV with elevated air	2.05	3.18
PPD with elevated air	79 %	100 %
Sensation	Warm	Hot
SET	33.9 °C	37.9 °C

Dif
38%
3.2
Dif
20%
3.8
Dif
21%
4

Transmitancia Periodo 2	
Ramón ( <i>Brosimum alicastrum</i> )	
Promedio	%
Transmitancia	14%
Protección	86%

$\Delta$
27%
4.7

Transmitancia Periodo 2	
Roble ( <i>Ehretia tinifolia</i> )	
Promedio	%
Transmitancia	17%
Protección	83%

$\Delta$
26%
3.7



Índice de confort		
Tamarindo periodo 2		10:00 a. m.
PMV with elevated air	1.78	3.11
PPD with elevated air	66 %	99 %
Sensation	Warm	Hot
SET	33.5 °C	37.0 °C
		01:00 p. m.
PMV with elevated air	2.72	3.97
PPD with elevated air	97 %	100 %
Sensation	Warm	Hot
SET	35.2 °C	39.0 °C
		04:00 p. m.
PMV with elevated air	2.19	3.84
PPD with elevated air	84 %	100 %
Sensation	Warm	Hot
SET	34.3 °C	38.4 °C

Dif
33%
3.5
Dif
3%
3.8
Dif
16%
4.1

Índice de confort		
Maculis periodo 2		10:00 a. m.
PMV with elevated air	2.03	2.9
PPD with elevated air	78%	99 %
Sensation	Warm	Hot
SET	33.9 °C	36.4 °C
		01:00 p. m.
PMV with elevated air	2.74	3.61
PPD with elevated air	97 %	100 %
Sensation	Warm	Hot
SET	35.3 °C	37.9 °C
		04:00 p. m.
PMV with elevated air	2.3	3.65
PPD with elevated air	88 %	100 %
Sensation	Warm	Hot
SET	34.6 °C	38.0 °C

Dif
21%
3
Dif
3%
2.6
Dif
12%
3.4

Transmitancia Periodo 2	
Tamarindo ( <i>Tamarindis indica</i> )	
Promedio	%
Transmitancia	28%
Protección	72%

$\Delta$
17%
3.8

Transmitancia	
Maculis ( <i>Tabebuia Rosea</i> )	
Promedio	%
Transmitancia	37%
Protección	63%

$\Delta$
12%
3.0

