REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Universidad Católica de Santa María

Escuela de Postgrado

Doctorado en Ciencias Ambientales

“LA ISLA DE CALOR Y LA INCIDENCIA DE LA ARBORIZACIÓN URBANA EN EL CONFORT TÉRMICO DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE AREQUIPA 2017.”

Tesis presentada por la Magister:

Fuentes Huanqui, Giuliana María

Para obtener el Grado Académico de:

Doctor en Ciencias Ambientales.

Asesor: Dr. Cáceres Huambo, Alberto.

Arequipa – Perú

2018

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

INFORME No. 001-2018-LAPS

A : **Dr. Hugo Tejada Pradell**
Director de la Escuela de Post Grado
Universidad Católica de Santa María de Arequipa.

DE : Prof. Luis Alberto Ponce Soto Ph.D.

ASUNTO : Informe de Dictamen de Borrador de Tesis "Arborización urbana y su relación con el confort térmico como medio de mitigación de la isla de calor en el centro histórico de la ciudad de Arequipa", presentado por la Magister Giuliana María Fuentes Huanqui, para optar el grado de Doctor en Ciencias Ambientales.

FECHA : Arequipa, 04 de Junio del 2018.

Tengo a bien dirigirme a usted, con la finalidad de informarle sobre el asunto, lo siguiente; después de haber revisado y evaluado el mencionado borrador de tesis intitulado "Arborización urbana y su relación con el confort térmico como medio de mitigación de la isla de calor en el centro histórico de la ciudad de Arequipa", soy de la opinión de APROBAR en el formado actual.

Es todo cuanto tengo que informar sobre el particular quedando en espera para cualquier esclarecimiento.

Atentamente,

Prof. Luis Alberto Ponce Soto Ph.D.
DNI 29546298
Dictaminador

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

DICTAMEN DEL BORRADOR DE TESIS

A: DR. HUGO TEJADA PRADELL

DE: DR. ALBERTO CACERES HUAMBO

Expediente: 20180000028019

Bachiller: FUENTES HUANQUI, Giuliana María.

Doctorado: Ciencias Ambientales.

Título: "La Isla de Calor y la Incidencia de la arborización urbana en el confort térmico del centro histórico de la ciudad de Arequipa - 2017".

FECHA: 04 DE JULIO, 2018

De acuerdo a lo dispuesto por la Dirección de la Escuela de Posgrado, se ha procedido a revisar las correcciones de la tesis presentada. Por lo que emito el dictamen aprobatorio para que pase a sustentación.

Es cuanto debo informar.

Dr. Alberto Cáceres Huambo
Docente

UCSM
ESCUELA DE POSGRADO
RECEPCIÓN
04 JUL. 2018
Hora
Recibido

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

DICTAMEN BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 04 de Julio del 2018

Sr. Dr.
HUGO TEJADA PRADELL
Director de la Escuela de Postgrado de la UCSM
Presente.-

Tengo el agrado de dirigirme a usted para saludarlo y a su vez poner en conocimiento que la magister **GIULIANA MARÍA FUENTES HUANQUI** ha presentado su borrador de tesis titulado **LA ISLA DE CALOR Y LA INCIDENCIA DE LA ARBORIZACIÓN URBANA EN EL CONFORT TÉRMICO DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE AREQUIPA 2017** el cual soy de la opinión debe pasar a exposición,

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para reiterar los sentimientos de mi mayor consideración.
Atentamente,

Dr. Edwin Bocardo Delgado

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

DEDICATORIA

Dedico este estudio a mi esposo Arjan por su apoyo incondicional y su confianza.

A mis hijas Tessa y Lucia por el tiempo que me regalaron para poder hacer este trabajo.

A mis padres por el ejemplo de perseverancia y trabajo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos que con sus comentarios e inquietudes se preocuparon por hacer realidad este trabajo y que son los pilares fundamentales en la elaboración de la presente Tesis.

A mi asesor y jurados por el tiempo que le dedicaron a la revisión y corrección de mi trabajo.

Sobre todo a un gran amigo y grandioso profesional y docente de alma vida y corazón por sus sabios consejos y su valiosa opinión.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

EPÍGRAFE

*En todos los asuntos humanos hay esfuerzos, y hay resultados, y la fortaleza del esfuerzo es la medida del resultado. "**Como un hombre piensa**" (1903), **James Allen***

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE

RESUMEN xii

ABSTRACT xiii

INTRODUCCION xiv

CAPITULO UNICO 1

RESULTADO, ANALISIS E INTERPRETACION 1

1. DELIMITACION DE LA ZONIFICACION DEL CENTRO HISTORICO DE AREQUIPA 1

2. EFECTO ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE AREQUIPA 4

3. CATEGORIZACION DE LAS ESPECIES ARBOREAS EN TRES ZONAS DEL CENTRO HISTORICO. 7

4. INCIDENCIA DE LA ARBORIZACION EN LA INTENCIDAD DE ISLA DE CALOR EN CENTRO HISTORICO DE AREQUIPA 16

5. DISCUSIÓN Y COMENTARIOS 22

CONCLUSIONES 25

RECOMENDACIONES 26

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 27

ANEXOS

ANEXO Nº 1 PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 65

ANEXO Nº 2: MATRICES DE SITEMATIZACION 74

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

INDICE DE FIGURAS

Figura Nº 1. Plano de delimitación del Centro Historico de la ciudad de Arequipa según el Plan Maetro 2017 - 2027..... 1

Figura Nº 2. Subdivisión en tres zonas del Centro Histórico. 3

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRAFICO Nº 1

DISTRIBUCIÓN RELATIVA DE LA DENSIDAD ARBÓREA EN LA ZONA 1 8

GRAFICO Nº2

DISTRIBUCIÓN ABSOLUTA DE LA DENSIDAD ARBÓREA POR CALLES EN LA ZONA 1 9

GRAFICO Nº 30

DISTRIBUCIÓN RELATIVA DE LA DENSIDAD ARBÓREA EN LA ZONA 2 ... 10

GRAFICO Nº 41

DISTRIBUCIÓN ABSOLUTA DE LA DENSIDAD ARBÓREA POR CALLES EN LA ZONA 2 11

GRAFICO Nº 5

DISTRIBUCIÓN RELATIVA DE LA DENSIDAD ARBÓREA EN LA ZONA 3 ... 12

GRAFICO N13

DISTRIBUCIÓN ABSOLUTA DE LA DENSIDAD ARBÓREA POR CALLES EN LA ZONA 3 13

GRAFICO Nº 7

PROMEDIO DE TEMPERATURA AMBIENTAL BAJO LA SOMBRA DE UN ARBOL Y DIRECTAMENTE BAJO EL SOL. 19

GRAFICO Nº 8

PROMEDIO DE HUMEDAD RELATIVA BAJO LA SOMBRA DE UN ARBOL Y DIRECTAMENTE BAJO EL SOL. 21

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: TEMPERATURA AMBIENTAL PROMEDIO BAJO LA SOMBRA DE UN ARBOL EN LA ZONA PERIURBANA Y URBANA 4

TABLA N° 2: INDICE DE LA INTENSIDAD DE ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE AREQUIPA. 6

TABLA Nº 3: CANTIDAD DE ARBOLES POR PERSONA RECOMENDADA POR LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD..... 14

TABLA Nº 4: DENSIDAD ABSOLUTA DE ARBOLES EN LAS TRES ZONAS DEL CENTRO HISTORICO. 15

TABLA N° 5: ARBORIZACION PREDOMINATE EN LAS TRES ZONAS DEL CENTRO HISTORICO. 16

TABLA Nº 6: TEMPERATURA AMBIENTAL BAJO LA SOMBRA DE LAS CUATRO ESPECIES MÁS ABUNDANTES EN EL CENTRO HISTORICO DE LA CIUDAD DE AREQUIPA. 18

TABLA Nº 7: HUMEDAD RELATIVA BAJO LA SOMBRA DE LAS TRES ESPECIES MÁS ABUNDANTES EN EL CENTRO HISTORICO DE LA CIUDAD DE AREQUIPA. 20

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

RESUMEN

El enunciado de la presente investigación se ha denominado "La isla de calor y la incidencia de la arborización urbana en el confort térmico del centro histórico de la ciudad de Arequipa 2017." El tipo de estudio corresponde al área de observacional, prospectivo, transversal y analítico, el cual pretende precisar cuál es el índice de isla de calor en la ciudad de Arequipa y a través de la categorización de las especies arbóreas presentes en el centro histórico de la ciudad se podrá determinar el comportamiento de las especies más abundantes en su contribución en el confort térmico.

La metodología utilizada se divide en tres escalas de análisis. Primero, una visión general, para determinar el índice de isla de calor, a través de la comparación de la temperatura entre el área periurbana y urbana por un lapso de 4 días consecutivos con un intervalo de dos horas en la ciudad de Arequipa. Segundo, se categorizó el arbolado urbano en tres sectores del Centro Histórico de Arequipa, mediante un censo y con la ayuda de Google Earth, identificando las especies más abundantes y la población total, determinado de esta forma si la ciudad cumple o no con las recomendaciones internacionales. Tercero, se analizó el comportamiento de las especies de árboles más comunes ante la temperatura y humedad.

Como resultados se pudo determinar la diferencia de temperatura entre la zona urbana y periurbana de la ciudad de Arequipa de 1.5 ºC en el invierno. Se determinó que el Centro Histórico de la ciudad, presenta tres zonas muy diferenciadas en cuanto a la presencia de arborización urbana, dos zonas muy por debajo de lo recomendado por la OMS, y otra zona 0.6 veces por encima de dichas recomendaciones. Se ha podido demostrar como la arborización urbana en el centro Histórico de Arequipa, se comporta como regulador de microclimas, y que las especie con mejor comportamiento es la *Morus nigra* y la Casuarina equisetifolia.

Como conclusión se puede establecer que la isla de calor en la ciudad de Arequipa aún se podría considerar como moderada. Que de un total de 31 especies de árboles urbanos presentes en el centro Historico son los Fraxinus americana , la Casuarina equisetifolia y la Morus nigra los mas abundantes. Y por ultimo que la especie que aporta en la disminución de temperatura y aumento de humedad es la Morus nigra.

Palabras claves: Isla de Calor, arborización urbana, confort térmico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ABSTRACT

The enunciation of the present investigation has been denominated "The island of heat and the incidence of the urban arborización in the thermal comfort of the historical center of the city of Arequipa 2017".

The type of study corresponds to the area of observational, prospective, transversal and analytical, which aims to specify what is the heat island index in the city of Arequipa and through the categorization of tree species present in the historic center of the city it will be possible to determine the behavior of the most abundant species in their contribution to thermal comfort.

The hypothesis proposes that the appropriate choice of urban arborization could affect the decrease of the phenomenon called heat island, generating a change in micro climatic conditions and directly influencing the thermal wellbeing of the population.

The methodology used is divided into three scales of analysis; First, an overview, to determine the heat island index, by comparing the temperature between the peri-urban and urban area for a period of 4 consecutive days with an interval of two hours in the city of Arequipa. Second, the urban trees were categorized into three sectors of the Historic Center of Arequipa, by means of a census and with the help of Google Earth, identifying the most abundant species and the total population, determined in this way if the city complies or not with the recommendations international Third, the behavior of the most common tree species in relation to temperature and humidity was analyzed

As a conclusion it was detected that in the city of Arequipa the temperature difference between the Historical Center and the periurban zones is of 1.5 ºC. What confirms the existence of heat island. It was determined that the historic center has three very different zones in terms of the presence of urban arborization, two areas well below what is recommended by the WHO, and another area 0.6 times above these recommendations. It has been possible to demonstrate how urban arborization in the Historic Center of Arequipa, behaves as a regulator of microclimates, and that the species with the best behavior is Morus nigra.Later it is suggested that, in order to contribute to the environmental improvement of the city of Arequipa, reforestation of public spaces should be planned with species that increase the humidity and lower the temperature in hot periods. But also taking into account the native species.

Keywords: Island of Heat, urban tree planting, thermal comfort.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INTRODUCCION

El crecimiento urbano a nivel mundial ha venido dándose de una forma exponencial, en la actualidad más del 53.85% de la población mundial habita en las ciudades, y según las Naciones Unidas en el Informe de Proyección de la Población mundial: Revisión del 2015, para el 2050 la población urbana mundial ascenderá al 66%. En el Perú hasta los años 60 solo el 47% de la población vivía en las urbes para el 2015 llegó a ser el 79% (INEI, 2015).

La ciudad de Arequipa no escapa de este fenómeno de crecimiento exponencial, en 1961 se tenía una población de 153,685 habitantes para el 2013 se llegó a los 947,384 habitantes. (INEI, 2015) Lo que trae como consecuencia la expansión territorial, sustituyendo las coberturas de suelos naturales por áreas edificadas y pavimentadas, generando una serie de impactos sobre el medio ambiente. Uno de los principales corresponde a los cambios y desequilibrios sobre el clima urbano. (Romero y Sarricolea, 2006).

Una de las principales alteraciones del clima urbano da origen al fenómeno denominado isla de calor urbana, esto implica una degradación ambiental que influye en el comportamiento de la contaminación atmosférica y la pérdida de confort térmico de los espacios urbanos (Romero, Molina 2006). Los materiales del uso del suelo urbano se caracterizan por un bajo albedo, baja capacidad de absorción de agua y un comportamiento térmico propicio para el almacenamiento y emisión de calor, contribuyendo con ello a elevar la temperatura atmosférica de la ciudad en relación con su entorno rural o menos urbanizado. (Oke, 1987).

Una medida preventiva para disminuir el efecto de Isla de Calor es generar mayor número de lugares con vegetación arbórea. La vegetación proporciona muchos beneficios, no solo de carácter estético, sino sociales y ecológicos, lo cual está asociado con la calidad ambiental como un factor de calidad de vida. De acuerdo con el Informe Técnico, emitido en el 2001 por el Grupo de Expertos sobre Medio Ambiente Urbano, de la Dirección General de Medio Ambiente de la Unión Europea, la presencia de estos espacios son uno de los cinco indicadores principales para lograr la sostenibilidad de las ciudades. (Rendón, 2010) .

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Las áreas verdes en consecuencia “capital medioambiental” se puede utilizar para mitigar los efectos de isla de calor. (Gill, Handley, Ennos, Pauleit, 2007).

El presente estudio en primer lugar se encargó de determinar la intensidad de Isla de calor en la ciudad de Arequipa. Posteriormente se realizó un mapeo de los árboles en los espacios públicos y se determinó las distintas especies en el área denominada como Centro Histórico. Se seleccionaron las especies con mayor presencia, posteriormente se analizó el comportamiento como regulador ambiental de las especies más abundantes y se determinó la influencia de éstas en la disminución de temperatura ambiental y al aumento de la humedad, factores importantes en el confort térmico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPITULO UNICO

RESULTADO, ANALISIS E INTERPRETACION

1. DELIMITACION DE LA ZONIFICACION DEL CENTRO HISTORICO DE AREQUIPA

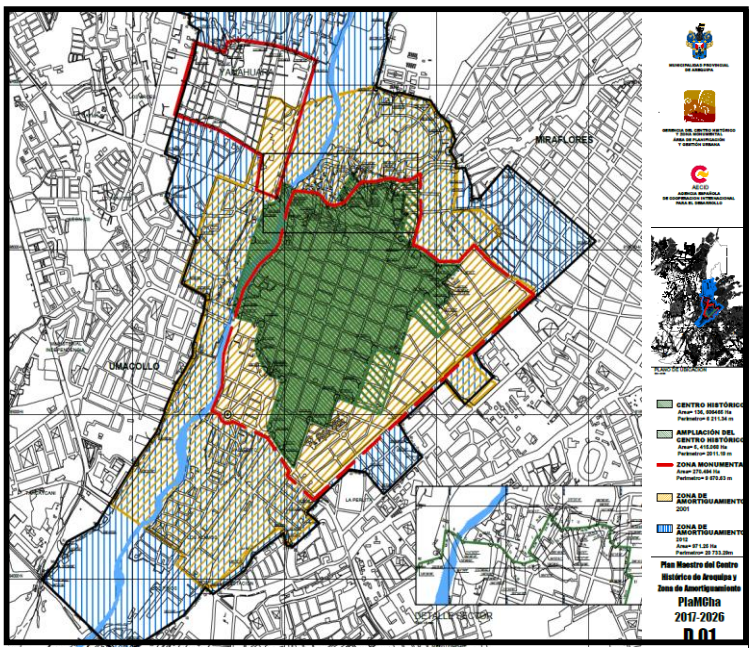


Figura Nº 1. Plano de delimitación del Centro Historico de la ciudad de Arequipa según el Plan Maestro 2017 - 2027.

Nos muestra la delimitación del Centro Históricos según el Plan Maestro del 2017-2027.

Según el Capítulo I y Artículo 17º del Plan Maestro del Centro Histórico de Arequipa, la delimitación del Centro Histórico se ha definido en un espacio protegido cuyos límites son los siguientes:

- **CENTRO HISTORICO**: El Centro Histórico de Arequipa se encuentra dentro del siguiente perímetro: Torrentera de San Lázaro (ambas márgenes) y barrio del mismo nombre, 6ta. Cuadra de Jerusalén, Carlos Llosa, 5ta. Cuadra de Rivero,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ayacucho, Prolongación Ayacucho (lado del Convento de Sta. Teresa), San Pedro, Convento de Santa Rosa, calles Sta. Rosa, Corbacho, Siglo XX, Plaza España, Colón, Pizarro, Santo Domingo, Perú, Alto de la Luna, Piérola, García Carbajal, San Juan de Dios, Av. Salaverry, La Merced, Tristán, Cruz Verde, Palacio Viejo hasta el Río Chili, ambas márgenes del Río Chili, hasta la torrentera de San Lázaro, incluyendo los Puentes Grau y Bolognesi.

- **ZONA MONUMENTAL**: La Zona Monumental se encuentra comprendida dentro del perímetro siguiente: Peral, Ayacucho, San Pedro, Manuel Muñoz Nájar, Av. Goyeneche, Av. Jorge Chávez, Malecón Socabaya, Av. Salaverry, Río Chili (ambas márgenes) y torrentera de San Lázaro (ambas márgenes) Decreto Supremo Nro. 012 - 77 IT/DS.

  La investigación toma como unidad de estudio el área del Centro Histórico y la Zona Monumental.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

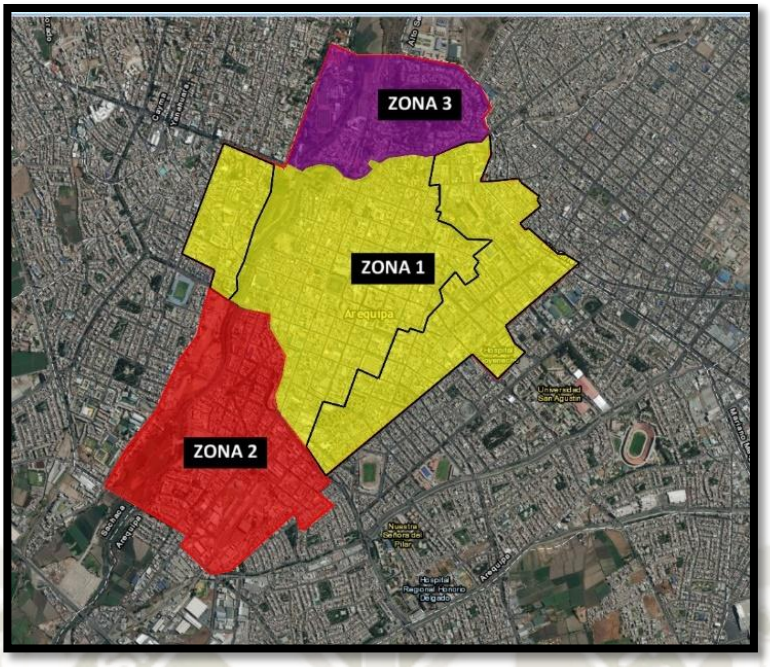


Figura Nº 2. Subdivisión en tres zonas del Centro Histórico.

La figura Nº2 obedece a las características tipológicas de la arquitectura, estructura urbana y de usos de suelo, las cuales son:

- **Zona 1**: Incluye la zona denominada zona monumental y la expansion nor-oeste y al sur- este en áreas denominadas tampón o de transicion con un área de 270.49 Ha. La morfologia urbana es reticular, el uso es mixto comercio, gestion y vivienda y existe un aparente deficit de árboles.
- **Zona 2**: Incluye la zona denominada de amortiguamiento 2001, sector de Vallecito, con área de 116.9 Ha. La morfologia es radial, el uso residencial y la presencia significativa de arborización.
- **Zona 3**: Incluye la zona denominada de amortiguamiento 2001, sector de Selva Alegre con un área aproximada de 62.17 Ha. La morfología es radiocéntrica y de uso residencial y de servicios con presencia significativa de arborización.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2. EFECTO ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

TABLA N° 1: TEMPERATURA AMBIENTAL PROMEDIO BAJO LA SOMBRA DE UN ARBOL EN LA ZONA PERIURBANA Y URBANA .

Hora	Temperatura promedio periurbana			Temperatura prom.urbana
	José Luis Bustamante y Rivero	Cerro Colorado	Sachaca	Centro Histórico
01:00:00 a.m.	7.85	8.63	10.00	11.18
03:00:00 a.m.	7.10	9.23	8.83	10.20
05:00:00 a.m.	7.00	9.55	8.18	9.53
07:00:00 a.m.	7.40	10.53	7.95	9.45
09:00:00 a.m.	18.50	19.38	15.35	15.88
11:00:00 a.m.	23.38	20.70	21.83	19.63
13:00:00 p.m.	23.38	20.80	24.8	20.78
15:00:00 p.m.	21.68	18.90	23.30	21.98
17:00:00 p.m.	17.33	15.90	21.28	20.63
19:00:00 p.m.	13.10	11.43	16.08	16.78
20:00:00 p.m.	10.45	10.33	13.05	13.88
22:00:00 p.m.	9.20	8.88	11.53	12.38
Media	**$\bar{X}$=13.86**	**$\bar{X}$=13.69**	**$\bar{X}$=15.18**	**$\bar{X}$=15.19**
Mínimo	**Min=7.00**	**Min=8.63**	**Min=7.95**	**Min=9.45**
Máximo	**Max=23.38**	**Max=20.80**	**Max=24.8**	**Max=21.98**
Rango	**16.38**	**12.17**	**16.85**	**12.53**

FUENTE: Elaboración propia, en base de mediciones realizadas.

La tabla Nº 1, los instrumentos portátiles tipo Data Logger fueron colocados bajo árboles por un lapso de 4 días del mes de junio, tomando la temperatura con un intervalo de dos horas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Se encontró que la temperatura promedio diferencia en 1.5 ºC más alto entre el Centro Histórico y el distrito Cerro Colorado. Constatando la existencia del efecto de isla de calor en el Centro histórico.

Las temperaturas más bajas fueron identificadas a las horas de la madrugada en José Luis Bustamante y Rivero habiendo una diferencia de 2.53ºC en comparación con el Centro Histórico a la misma hora.

Podría ser que la baja temperatura proveniente de las montañas lado sur este de la ciudad ayuden a que las menores temperaturas se detecten en la zona de Jose Luis Bustamante y Rivero.

Las temperaturas más altas se presentan a las 13 horas en el distrito de Sachaca habiendo una diferencia de 4.02ºC en comparación con el Centro Histórico.

La temperatura empieza a subir desde las 3 de la mañana en el distrito de Cerro Colorado, 4 horas más tarde en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, y recién a partir de las 9 de la mañana en Cerro Colorado y el Centro Histórico

Se identificó que en los tres distritos periurbanos la temperatura empieza a bajar a partir de las 13 horas sin embargo en el Centro Histórico recién a partir de las 15 horas.

Los resultados de altas temperaturas se dan en distritos que se encuentran con un mayor índice de construcción, sin embargo el Centro Histórico presenta altas temperaturas muchas horas después que en el promedio de los distritos circundantes, posiblemente se deba que durante el día las radiaciones solares influyan directamente en las áreas construidas y estas contengan más el calor y que a horas más tarde desprenda al calor acumulado.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

TABLA N° 2: INDICE DE LA INTENSIDAD DE ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE AREQUIPA.

Hora	José Luis Bustamante y Rivero	Cerro Colorado	Sachaca
01:00:00 a.m.	3.33	2.55	1.18
03:00:00 a.m.	3.10	0.97	1.37
05:00:00 a.m.	2.53	-0.02	1.35
07:00:00 a.m.	2.05	-1.08	1.5
09:00:00 a.m.	-2.62	-3.5	0.53
11:00:00 a.m.	-3.75	-1.07	-2.20
13:00:00 p.m.	-2.6	-0.02	-4.02
15:00:00 p.m.	0.3	3.08	-1.32
17:00:00 p.m.	3.3	4.73	-0.65
19:00:00 p.m.	3.68	5.35	0.70
20:00:00 p.m.	3.43	3.55	0.83
22:00:00 p.m.	3.18	3.5	0.85

FUENTE: Elaboración propia, en base a mediciones realizadas.

Cabe recordar que el índice es el resultado de la temperatura urbana, menos la temperatura rural, siguiendo a fórmula planteada por Okey (1987).

Los valores positivos indican la existencia de isla de calor y si la intensidad es negativa hay un efecto de enfriamiento.

- ICU fuerte alcanza entre -4 y- 6 °C
- ICU moderada entre -2 y -4 °C
- ICU débil es aquella que no supera 2°C y -2°C
- ICU Moderada aquella que registra entre 2 y 4°C
- ICU fuerte alcanza entre 4 y 6 °C

(Fernández ,1996)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En correspondencia a lo dicho en el cuadro se muestra la intensidad de Isla de Calor de forma comparativa entre los tres distritos estudiados, presentando Sachaca anomalías negativas hasta -4.02°C a las 13 horas y el distrito de Cerro Colorado anomalías positivas de 5.35 °C a las 19:00 horas.

Durante la mañana es posible observar temperaturas atmosféricas más elevadas en zonas periféricas de la ciudad, correspondientes a islas de calor no urbanas, (Romero et al., 2006) como también en zonas rurales. Lo anterior se debe a que los paisajes de coberturas naturales y a la naturaleza geológica de los suelos, logran reflejar, absorber y emitir de una manera más rápida la energía solar incidente.

Finalmente, durante la noche de verano, es cuando se puede evidenciar de mejor forma la presencia de dicha Isla de Calor Urbana de la ciudad de Santiago. Las superficies urbanas que han recibido y almacenado la energía proveniente de la insolación durante el día, emiten calor hacia la atmósfera. A diferencia de éstas, las zonas donde prevalecen coberturas naturales logran liberar más rápidamente el calor a través de la vegetación, que aquellas zonas urbanas (Valor et al., 2000) según Oke en 1987 determino que climas secos 50% de la energía es absorbida y trasmitida al medio ambiente.

3. CATEGORIZACION DE LAS ESPECIES ARBOREAS EN TRES ZONAS DEL CENTRO HISTORICO.

En cuanto a la categorización de las especies arbóreas en el Centro Histórico de Arequipa, se censaron un total de 4,323 árboles de 31 especies distintas.

Se determinó que la especie más abundante es el *Fraxinus americana* con 2,363 unidades, le sigue la *Casuarina equisetifolia* con 890 unidades, luego la *Morus nigra* con 370 y luego el álamo con 202 unidades todas están identificadas en el espacio público y tomando en consideración que para poder ser censados la altura mínima debía haber sido de dos metros.

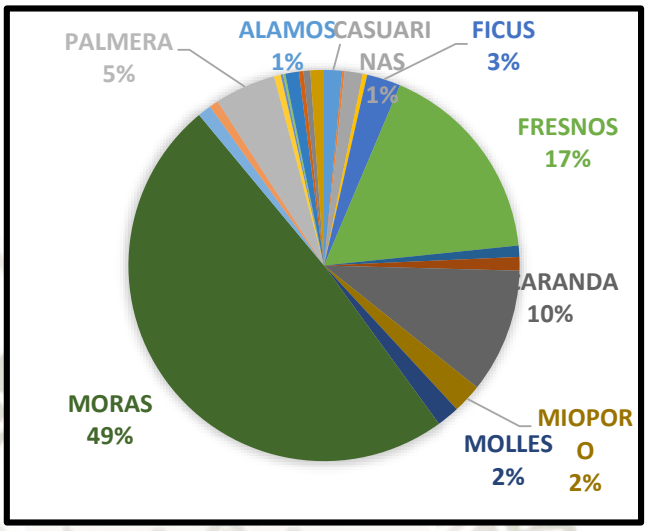
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

GRAFICO Nº 1

DISTRIBUCIÓN RELATIVA DE LA DENSIDAD ARBÓREA EN LA ZONA 1



FUENTE: Elaboración propia.

En el grafico N°1 se puede observar la distribución relativa de la densidad arbórea en la zona 1 donde la especie más abundante en esta es la *Morus nigra* (mora) con 49%, seguido del *Fraxinus americana* (fresno) con un 17 % y el *Jacaranda mimosifolia* (jacaranda) con un 10%.

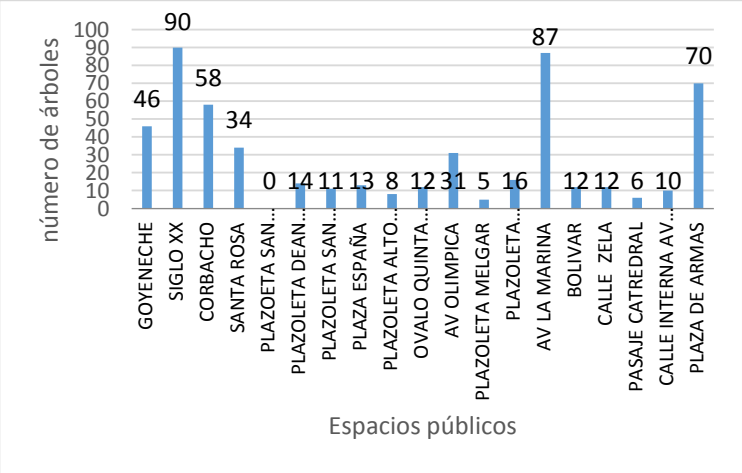
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

GRAFICO Nº2

DISTRIBUCIÓN ABSOLUTA DE LA DENSIDAD ARBÓREA POR CALLES EN LA ZONA 1



FUENTE: Elaboración propia.

En gráfico Nº2 se muestra la distribución absoluta de la densidad arbórea por calles de la zona 1. La calle Siglo XX presenta la mayor cantidad de *Morus nigra* (mora), seguidamente la Av. Marina con gran cantidad de *Fraxinus americana* y *Morus nigra*. Las calles o avenidas con mayor vegetación son la calle siglo XX y la av. la Marina donde desde hace aprox 16 años se empezó con la forestación de *Morus nigra* (mora) de esta zona.

En la denominada ZONA 1 se censaron 535 árboles siendo esta la zona con menor cantidad de árboles pero con mayor número de habitantes y mayor extensión. La densidad absoluta es de 2.08 árboles por hectárea y de 0.02 árboles por persona siendo las recomendaciones de la OMS de 0.3 árboles por persona.

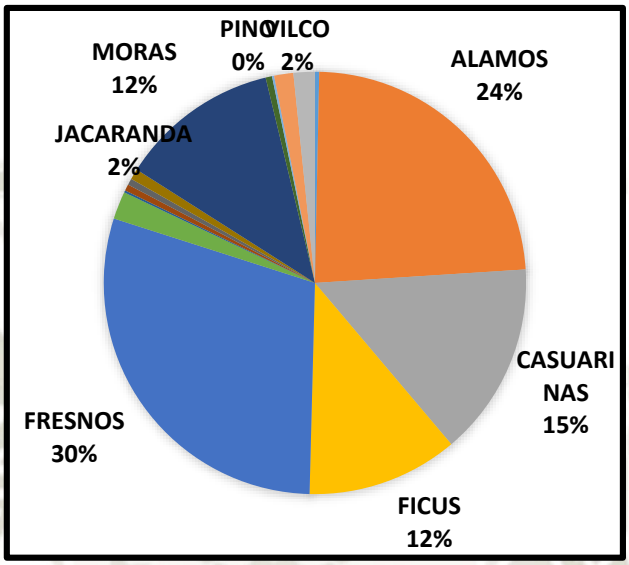
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

GRAFICO Nº 3

DISTRIBUCIÓN RELATIVA DE LA DENSIDAD ARBÓREA EN LA ZONA 2



FUENTE: Elaboración propia

En el gráfico N° 3 podemos observar la distribución relativa de la densidad arbórea en la zona 2, donde la especie más abundante en esta zona es *Fraxinus americana* (fresno) con un 30 % seguido por a *Pópulos nigra* (Alamo) con 24 % y por último la *Casuarina equisetifolia* (casuarina) con 15 %.

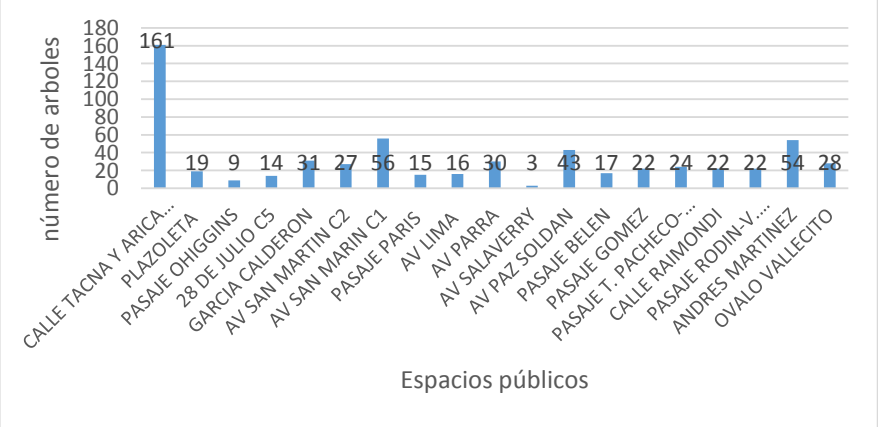
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

GRAFICO Nº 4

DISTRIBUCIÓN ABSOLUTA DE LA DENSIDAD ARBÓREA POR CALLES EN LA ZONA 2



FUENTE: Elaboración propia.

En el Grafico N°4 se muestra la distribución absoluta de la densidad arbórea por calles de la zona 2, las calles o avenidas con mayor vegetación son la calle Tacna y Arica que hace aproximadamente 4 años se plantaron *Pópulos nigra* (Alamo), y los *Fraxinus americana* (Fresno) están ubicados en las Av. Paz Soldán, Av. San Martin Andrés Martínez y Ovalo de Vallecito éstos fueron plantados en su mayoría en los años 40.

En la denominada ZONA 2, se censaron 613 árboles, que corresponde a la mitad del área de la zona 1. Del total de árboles, el 30.0% eran *Fraxinus americana*, seguidos por los álamos en 24.0%. La densidad absoluta es de 5.24 árboles por hectárea y de 0.04 árboles por persona siendo las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud de 0.3 árboles por persona.

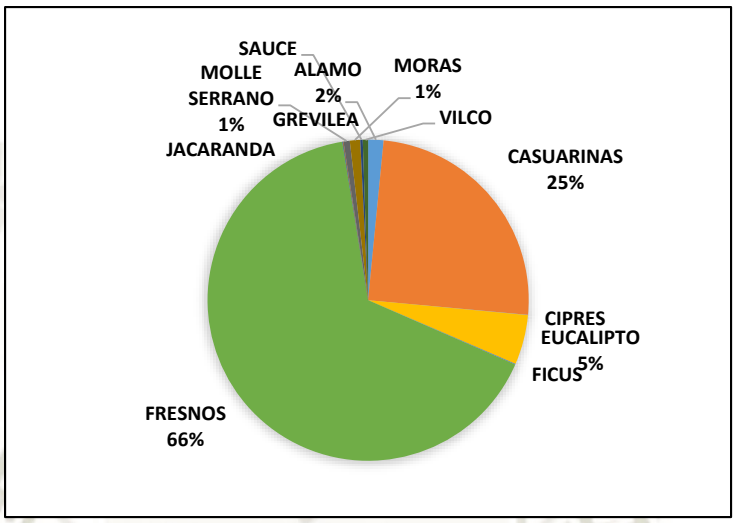
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

GRAFICO Nº 5

DISTRIBUCIÓN RELATIVA DE LA DENSIDAD ARBÓREA EN LA ZONA 3



FUENTE: Elaboración propia.

En el Grafico N°5 podemos observar la distribución relativa de la densidad arbórea en la zona 3 donde la especie más abundante es *Fraxinus americana* (fresno) con un 66 % seguido por la *Casuarina equisetifolia* (casuarina) con 25 % y por ultimo con *Eucalyptus* (eucalipto) con 5 %.

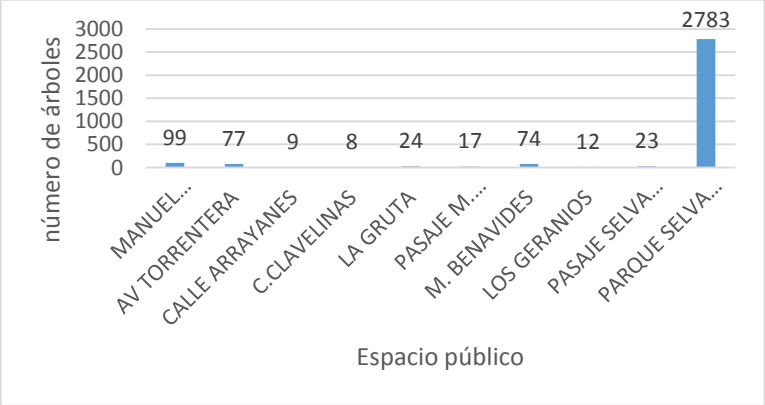
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

GRAFICO Nº 6

DISTRIBUCIÓN ABSOLUTA DE LA DENSIDAD ARBÓREA POR CALLES EN LA ZONA 3



FUENTE: Elaboración propia.

En el Grafico N°6 se muestra la distribución absoluta de la densidad arbórea por calles de la zona 3, el parque Selva Alegre es el lugar de mayor concentración arbórea de la ciudad de Arequipa de igual forma las calles que lo rodean como es la Calle Manuel Ugarteche , M. Benavides teniendo una antigüedad también de casi 80 años.

En la denominada ZONA 3 se censaron 3,175 árboles siendo esta la zona la que presenta menor cantidad de habitantes y menor área, la cual corresponde a la cuarta parte de la zona 1. Del total de árboles el 66.0% eran *Fraxinus americana*, seguidos por las *Casuarina equisetifolia* en 25.0 %.La densidad absoluta es de 51.12 árboles por hectárea y de 0.47 árboles por persona siendo las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (O.MS, 1998) de 0.3 árboles por persona.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

TABLA Nº 3: CANTIDAD DE ARBOLES POR PERSONA RECOMENDADA POR LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.

	Zona 1	**Zona 2**	**Zona 3**
Habitantes	27,606.9	12,543.37	6663.33
Número de árboles	535	613	3,175
Cant. de arboles/persona	0.02	0.04	0.47

FUENTE: Elaboración propia.

La tabla N°3 muestra el número de árboles y la cantidad habitantes en las tres zonas para poder determinar si se cumple lo recomendado por la O.M.S (1998) que indica que el ratio es de 0.3 árboles (por cada 3 personas 1 árbol).

Así mismo se encontró que la zona 1 tenemos que el número de árboles estas 15 veces por debajo de lo recomendado por la OMS. En la zona 2 se encontró que el número de árboles esta 7.5 veces por debajo de lo recomendado por la OMS y en la zona 3 se encontró que el número de árboles esta 0.6 veces por encima de lo recomendado por la OMS.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

TABLA Nº 4: DENSIDAD ABSOLUTA DE ARBOLES EN LAS TRES ZONAS DEL CENTRO HISTORICO.

	Zona 1	**Zona 2**	**Zona 3**
Número árboles	535	613	3,175
Área muestreada	257.2	116.9	62.1
Densidad Absoluta de árboles/ Ha.	2.08	5.24	51.12

FUENTE: Elaboración propia

La tabla N°4, muestra el número según el área muestreada en las distintas zona estudiadas. Según la densidad absoluta en la zona 1 se encontró 2.08 árboles por hectárea en la zona 2 se encontró 5.24 árboles por hectárea y en la zona 3 se encontró 51.12 árboles por hectárea.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4. INCIDENCIA DE LA ARBORIZACION EN LA INTENCIDAD DE ISLA DE CALOR EN CENTRO HISTORICO DE AREQUIPA

TABLA N° 5: ARBORIZACION PREDOMINATE EN LAS TRES ZONAS DEL CENTRO HISTORICO.

Zona	Especie	%	Especie	%	Especie	%
Zona 1	*Morus nigra*	49	*Fraxinus americana*	17	*Jacaranda mimosifolia*	10
Zona 2	*Fraxinus americana*	30	*Pópulos nigra*	24	*Casuarina equisetifolia*	15
Zona 3	*Fraxinus americana*	66	*Casuarina equisetifolia*	25	*Eucaliptus globulus*	5

FUENTE: Elaboración propia.

Zona 1

- Se ha detectado que la especie más abundante es la *Morus nigra*, esta ha sido plantada en las últimos 5 años en vías donde se ha querido evitar el parqueo de automóviles.
- Los *Fraxinus americana* que se encuentran en esta zona son árboles que han alcanzado su madures máxima y que fueron plantados siguiendo un criterio de jerarquización de vías principales.
- Los *Jacaranda mimosofolia* se encuentran mayormente en las plazoletas y plazas tienen un carácter ornamental y fueron plantados hace ya unas dos a tres décadas.

Zona 2

- Se ha detectado que en la especie más abundante es *Fraxinus americana*, son árboles que han alcanzado su madures y que fueron plantados siguiendo un criterio de jerarquización de vías principales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- Los *Pópulos nigra* que se encuentran en esta zona son arboles plantadas hace unos 2 años lo que significa que aún no alcanzan la madures fueron plantados de forma masiva en una sola calle de esta zona.
- Casuarina equisetifolia al igual que los *Fraxinus americana* son árboles que han alcanzado madures y que fueron plantados siguiendo un criterio de jerarquización de vías principales

Zona 3

- Se ha detectado que la especie más abundante es el *Fraxinus americana*, son árboles que han alcanzado su madures y que fueron plantados en el parque Selva Alegre y también en calles siguiendo un criterio de jerarquización de vías principales
- La casuarinas equisetifolia también presentes en su mayoría en el parque Selva Alegre fueron plantados por un tema ornamental.
- *Eucaliptus globulus* también presentes en su mayoría en el parque selva alegre fueron plantados por un tema ornamental.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CUATRO ESPECIES MÁS ABUNDANTES EN EL CENTRO HISTORICO DE LA CIUDAD DE AREQUIPA.

Días	Temperatura bajo sombra				Temperatura bajo sol
	Pópulos nigra (alamo)	*Fraxinus americana (fresno)*	*Morus nigra(mora)*	*Casuarina equisetifolia (Casuarina)*	
día 1	21.36	19.76	17.77	16.37	21.75
día 2	18.79	19.40	15.13	15.93	20.45
día 3	18.01	18.90	14.32	15.11	22.69
día 4	20.15	15.91	15.27	15.89	25.57
Promedio	19.58[a]	18.49 [a]	15.62 [b]	15.83 [b]	22.62
Diferencia	3.04	4.12	6.99	6.79	

F=12.82 P<0.05

FUENTE: Elaboración propia.

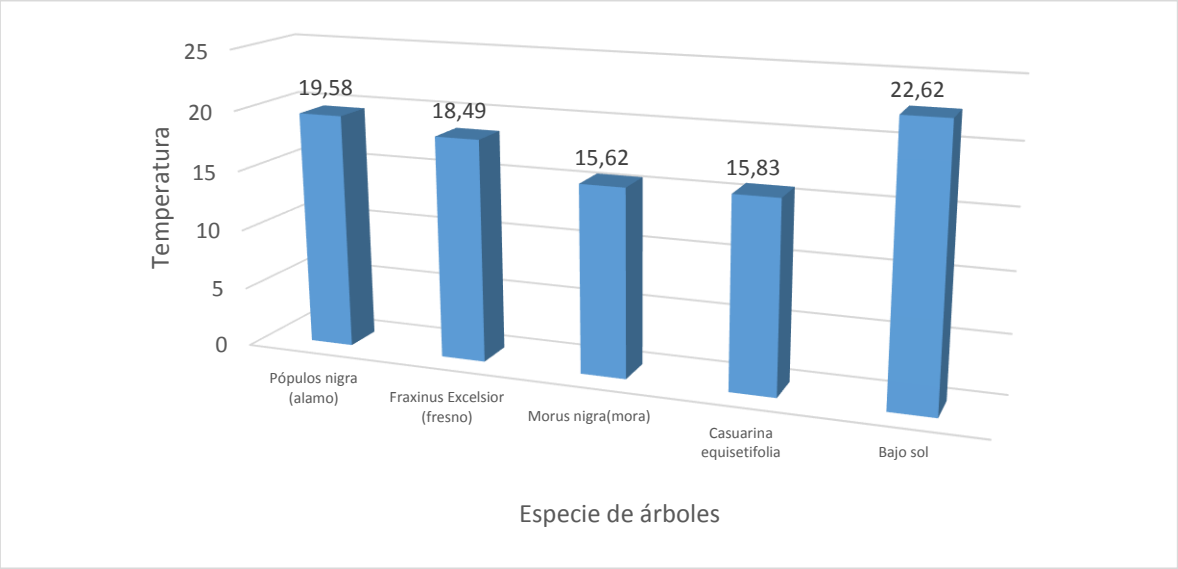
La tabla Nº 6, muestra el efecto de la arborización en la disminución de temperatura debido a la sombra proyectada en el área circundante. Según el analisis de la varianza de un factor de variabilidad se encontró que la temperaturas ambiental bajo la sombra de *Morus nig*ra y *Casuarina equisetifolia* no presento diferencias estadísticas significativas. **P<0.05.** Lo que quiere decir que ambas especies que actúa con más efectividad en la disminución de temperatura. Seguidamentela Populus migra y Fracsinus americana con 0.91 y 0.83 veces respectivamente.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

GRAFICO Nº 7 PROMEDIO DE TEMPERATURA AMBIENTAL BAJO LA SOMBRA DE UN ARBOL Y DIRECTAMENTE BAJO EL SOL.



FUENTE: Elaboración propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

TABLA Nº 7: HUMEDAD RELATIVA BAJO LA SOMBRA DE LAS TRES ESPECIES MÁS ABUNDANTES EN EL CENTRO HISTORICO DE LA CIUDAD DE AREQUIPA.

Días	Humedad Bajo sombra				Humedad bajo sol
	Pópulos nigra	*Fraxinus americana*	*Morus nigra*	*Casuarina equisetifolia*	
día 1	34.81	25.25	59.88	52.32	25.83
día 2	36.89	30.00	72.65	58.05	29.68
día 3	39.08	32.73	77.32	65.53	32.49
día 4	33.83	57.33	63.68	56.90	39.12
Promedio	36.15 [a]	39.78 [a]	68.37 [b]	58.20 [b]	33.25
Diferencia	0.91	0.83	2.05	1.70	

F=13.69 P<0.05

FUENTE: Elaboración propia

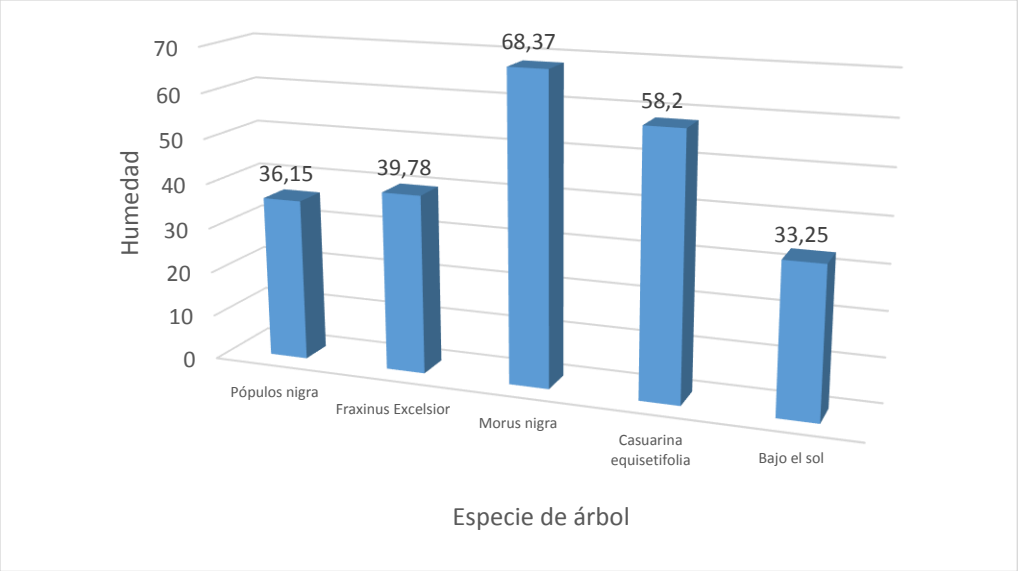
La tabla N°7, Según el analisis de la varianza de un factor de variabilidad se encontró que la humedad relativa bajo la sombra de *Morus nig*ra y *Casuarina equisetifolia* no presento diferencias estadísticas significativas (P<0.05). Con la especie *Morus nigra* se puede conseguir hasta 2.05 veces más humedad y con la Casuarina *equisetifolia* hasta 1.7 veces más. Seguidamente con el *Fraxinus americana* y *Pópulos nigra* se obtuvo 0.91 y 0.83 veces más humedad respectivamente.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

GRAFICO Nº 8 PROMEDIO DE HUMEDAD RELATIVA BAJO LA SOMBRA DE UN ARBOL Y DIRECTAMENTE BAJO EL SOL.



FUENTE: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5. DISCUSIÓN Y COMENTARIOS

Las principales alteraciones del clima urbano en la ciudad de Arequipa da origen al denominado fenómeno isla de calor urbano, que implica una degradación ambiente e influye en la pérdida del confort térmico.

En el caso específico de nuestra investigación se presentó una diferencia de temperatura considerables entre el Centro y los distritos de Sachaca y Jose Luis Bustamante (periferia de la ciudad) a las 9:00 am, con una diferencia de hasta 3.5 ºC.

La experiencia de la ciudad de Santiago es la que se encuentra más cercana a los resultados hallados en nuestra investigación donde se ha constatado que el área urbana presenta mayor temperatura que las áreas rurales durante la noche, manteniéndose hasta aproximadamente las 7 de la mañana con una diferencia de hasta 3.5 ºC.

En cuanto a la intensidad de isla de calor en el estudio realizado por Romero Aravena, Peña, Arana (2006), se determinó que es posible observar temperaturas atmosféricas más elevadas en zonas periféricas de la ciudad, correspondientes a islas de calor no urbanas.

Los estudios realizados por Makar y equipo en el 2006, en las ciudades de New York, Calgary, Vancouver, Montreal y otras ciudades de Europa y Norte América, muestran una diferencia de temperatura entre 4 a 7 °C. De igual forma el trabajo realizado por Tumini en el 2010 sobre la isla de calor urbano, concluye que dicho efecto se puede manifestar tanto de día como de noche, pudiendo alcanzar hasta los 10ºC de diferencia con el entorno.

En el caso de la ciudad de Santiago, Romero, Molina, Moscoso y Smith en el 2006 encontraron diferencia de hasta 2 ºC grados entre las temperaturas promedio de las urbanizaciones de alta y baja densidad, debido a la presencia de mayores porcentajes de vegetación y superficies permeables en éstas últimas, lo que permite una mayor regulación en la transferencia de calor a la atmósfera.

Para Klysik y Foruniak en 1999 el efecto de isla de calor puede variar a lo largo del día y alcanzar su máximo efecto durante la puesta del sol esto se debe a la energía absorbida por las superficies de las edificaciones urbanas las cuales liberan esta energía de forma lenta encontrando valores que superan los 12ºC en Polonia. Los estudios de investigación de Akbari, Taha y Rosenbfeld en 1990 encontraron de igual forma

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

diferencias de temperatura muy elevadas entre 15 y 20ºC. En nuestra investigación estos cambios no son tan drásticos a esa hora del día llegando solo hasta 5.35 ºC de diferencia entre el distrito de Cerro Colorado y el Centro Histórico a las 19:00 horas dos horas más tarde que la puesta de sol en esta época del año.

En cuanto la categorización del arbolado urbano, nuestra investigación comprueba que de las 4 especies mas abundantes en el Centro Histórico, la *mora* es la especie que contribuye con la disminución de temperatura, llegando hasta 7 ºC de diferencia, comparativamente bajo el sol directo, muy cercana se encuentra la *casuarina* con 6.79 ºC, no presentando diferencias significativa ($P<0.05$) con la mora. Seguidamente el *fresno* con 4.12 ºC y por último el *álamo* con 3.04 ºC. De igual forma la humedad relativa puede aumentar hasta el doble bajo la sombra de un árbol en el caso específico la *mora* y hasta 1.7 veces bajo la sombra de la casuarina y por debajo se encuentra el *frenos y álamo* con 0.91 y 0.836 veces respectivamente.

Jiménez (2008) concluye que la reducción de la temperatura depende de características propias de cada especie, arbórea, como la densidad del follaje, el diámetro de copa o el color de las hojas, entre otras variables.

En cuanto a determinación del impacto de la arborización urbana sobre la intensidad de la isla de calor en el confort térmico nuestro estudio muestra una disminución de hasta en casi 7 ºC. bajo la sombra de un árbol. De igual forma la humedad relativa puede aumentar hasta el doble bajo la sombra de un árbol.

Para Wang, Berardi, y Akbari, (2015), la vegetación a través de la fotosíntesis y transpiración puede reducir la temperatura y aumentar la humedad, comparándose como regulador de temperatura, de igual forma Ballester-Olmos en 1991 el afirma que la vegetación influye directamente sobre la temperatura de la ciudad, amortiguando los rigores estivales y disminuyendo la intensidad de las islas de calor.

Para Ballester -Olmos (1991) la temperatura de la superficie dentro de un espacio verde puede ser 15-20 ° C más baja que la del área urbana circundante, dando lugar a temperaturas más frías del aire de 2-8 ° C y un efecto de enfriamiento que se extiende hacia el área circundante, sin embargo en nuestra investigación solamente se llegó a una disminución de 7 ºC, pudiendo ser la causa que las mediciones que se hicieron fueron a árboles plantados de forma aislada. Y en el caso de Olmos (1991) no especifica si estos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

resultados son de cúmulos de vegetación como parque o bosques. Siendo nuestros resultados más próximos a lo que reporta Oke (1987) en su investigación en distintas ciudades donde la diferencia es de más de 3ºC.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CONCLUSIONES

PRIMERA:

De acuerdo a los resultados sobre la presencia de isla de calor en la ciudad de Arequipa, se detectó la diferencia de 1.5 ºC. temperatura entre el Centro Histórico y las zonas periurbanas.

SEGUNDA

En cuanto a las especies más comunes encontradas en el centro histórico de la ciudad de Arequipa se tienen en primer lugar a los *Fraxinus americana* con 2363 unidades, luego las *Casuarina equisetifolia* con 890 unidades y luego las *Morus nigra* con 370 y álamos con 270 unidades las otras especies no son significativas, sin embargo se contabilizo un total de 31 especies.

TERCERA

En cuanto al impacto de la arborización en la intensidad de isla de calor en el confort térmico, se ha podido demostrar con las distintas especies analizadas, que cada una de ellas tiene un comportamiento diferente respecto al confort térmico pero todas tienen en común su actuación eficaz en la disminución de temperatura y aumento de humedad comportándose como reguladores de microclimas.

La *Morus nigra* y la *Casuarina equisetifolia* tiene un comportamiento optimo en cuanto a la regulación del clima, ayuda a disminuir la temperatura en casi 7°C y 6.79°C respectivamente y en cuanto a la humedad relativa se puede conseguir hasta 2.05 y 1.70 veces más humedad respectivamente que directamente bajo el sol, pero no solo debemos analizar el tema medioambiental sino también si se trata de una especie nativa o si contribuye con la estética de la ciudad y si su mantenimiento no es intensivo y costoso.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

RECOMENDACIONES

Realizar un inventario de las áreas verdes y su composición de toda la ciudad de Arequipa. Es decir, conocer qué y cuánto espacios verdes existen en la ciudad.

Implementar un plan de reforestación urbana tomando en consideración especies de bajo mantenimiento y con un impacto positivo en la disminución de factores contaminantes y de control de radiación solar**.**

Realizar estudios midiendo otros parámetros ambientales como la radiación, dirección del viento, niveles de contaminación, que también influyen en el confort térmico en los espacios públicos.

Realizar estudios midiendo la cobertura de los árboles y su influencia en la isla de calor. Así como evaluar comparativamente la isla de calor según especies nativas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Akbari, H.; Rosenfeld, A. H. y Taha, H. (1990). *Summer heat islands, urban trees, and white surfaces*. Ashrae winter conference.

Ballester-Olmos, J.F.(1991). *El medio ambiente urabano y la vegatacion . Estudio de la situación en la ciudad de Valencia* .Valencia,Generalitat Valenciana, Conselleria de Agricultura i Pesca.

Fernández, F. (1996*). Manual de climatología aplicada*. Madrid, España: síntesis.

Gill, S., Handley, J., Ennos, A., Pauleit, S. (2007). *Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. Built environ*. Vol 33, pp.115–133.

INEI ,Instituto Nacional de Estadística e Informática. *(2015) Encuesta demográfica y de salud familiar.*

Jiménez, O. (2008). Í*ndice de confort de la vegetación*. Revista nodo, vol. 3, n° 5: pp.49-70.

Klysik K., Foruniak K., (1999). *Temporal and spatial characteristics of the urban island of Lodz, Poland*. Atmospheric Environment, Vol.33, pp. 3885- 3895.

Makar, P.A., Ggravel, S., Chirkov, V., Strawbridge, K.B., Froude, F., Arnold, J., Brook, J. (2006). *Heat flux, urban properties, and regional weather. Atmospheric environment* , Vol 40: pp.2750- 2766.

Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates*. Cambridge. University press. 435 p.

O.M.S, Organización mundial de la salud. (1998) *Promoción de la salud*. glosario, Ginebra: Word health organization (WHO), pág. 28.

Romero Aravena, H. y Peña, Araya, M. (2006). *Relación espacial y estadística entre las islas de calor de superficie, coberturas vegetales, reflectividad y contenido de humedad del suelo,*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

en la ciudad de Santiago y su entorno rural. Recuperado de http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/118067

Rendón, G. (2010). *Espacios verdes públicos y calidad de vida. in 6to. congreso internacional ciudad y territorio virtual*, Mexicali, 5, 6 y 7 octubre 2010. Centre de política de sòl i valoracions.

Romero, H., Molina, M., Moscoso, C., Smith, P. (2006). C*ambios de usos y coberturas de los suelos asociados a la urbanización de las metrópolis chilenas. El aporte de la geografía en la superación de los desequilibrios territoriales y sociales*: XXVII Congreso Nacional y XX Internacional de Geografía. oct. p. 17 – 20, Concepción, Chile.

Romero, H., y Sarricolea, P. (2006). *Patrones y factores de crecimiento espacial de la ciudad de Santiago de Chile y sus efectos en la generación de islas de calor urbanas de superficie. clima, sociedad y medio ambiente*: V Congreso de la Asociación Española de climatología, sept. p.18 – 21, Zaragoza, España.

Tumini, I. (2010). *Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. estudio aplicado al caso de Madrid*. Congreso internacional sobre edificación sostenible sb10mad, 1–15. Recuperado de www.sb10mad.com/ponencias/archivos/a/a033.pdf

Valor.E, Caselles V., Coll. C., Sánchez. E., Rubio. E., Sospedra f. (2000). *Análisis comparativo del efecto de isla térmica de la ciudad de valencia con imágenes tm, must y avhrr*. Revista de la asociación española de teledetección, nº 15 pp

Wang, Y., Berardi, U., & Akbari, H. (2015). The Urban Heat Island Effect in the City of Toronto. *Procedia Engineering*, *118*, 137–144. Recuperado de: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.412

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXOS

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO N° 1

“PROYECTO DE INVESTIGACIÓN”

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Universidad Católica de Santa María

Escuela de Postgrado

Doctorado en Ciencias Ambientales

"LA ISLA DE CALOR Y LA INCIDENCIA DE LA ARBORIZACIÓN EN EL CONFORT TÉRMICO DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE AREQUIPA 2017."

Plan de Tesis presentado por la Magister:
Fuentes Huanqui, Giuliana María

Para optar el Grado Académico de:
Doctor en Ciencias Ambientales

Asesor: Dr. Cáceres Huambo, Alberto.

Arequipa – Perú

2017

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

I. Preámbulo:

El crecimiento urbano a nivel mundial ha venido dando de una forma exponencial, en la actualidad más del 53.85% de la población mundial habita en las ciudades, y según las Naciones Unidas en el Informe de Proyección de la Población mundial: Revisión del 2015, para el 2050 la población urbana mundial ascenderá al 66%. En el Perú hasta los años 60 solo el 47% de la población vivía en las urbes para el 2015 llegó a ser el 79% (INEI, 2015).

La ciudad de Arequipa no escapa de este fenómeno de crecimiento exponencial, en 1961 se tenía una población de 153,685 habitantes para el 2013 se llegó a los 852,807 habitantes (INEI, 2015) Lo que trae como consecuencia la expansión territorial, sustituyendo las coberturas de suelos naturales por áreas edificadas y pavimentadas, generando una serie de impactos sobre el medio ambiente. Uno de los principales corresponde a los cambios y desequilibrios sobre el clima urbano (Romero y Sarricolea, 2006).

La Isla de Calor implican una degradación ambiental que influye en el comportamiento de la contaminación atmosférica y la perdida de confort térmico de los espacios urbanos (Romero, Molina, 2006). Los materiales del uso del suelo urbano se caracterizan por un bajo albedo, baja capacidad de absorción de agua y un comportamiento térmico propicio para el almacenamiento y emisión de calor, contribuyendo con ello a elevar la temperatura atmosférica de la ciudad en relación con su entorno rural o menos urbanizado. (Oke, 1987).

Una medida preventiva para disminuir el efecto de Isla de Calor es generar mayor número de lugares con vegetación arbórea. La vegetación proporciona muchos beneficios, no solo de carácter estético, sino sociales y ecológicos, lo cual está asociado con la calidad ambiental como un factor de calidad de vida. De acuerdo al Informe Técnico, emitido en el 2001 por el Grupo de Expertos sobre Medio Ambiente Urbano, de la Dirección General de Medio Ambiente de la Unión Europea, la presencia de estos espacios son uno de los cinco indicadores principales para lograr la sostenibilidad de las ciudades. (Rendón, 2010).

Las áreas verdes en consecuencia “capital medioambiental” se puede utilizar para mitigar los efectos de isla de calor (Gill, et al. 2007).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El presente estudio en primer lugar se encargará de determinar la diferencia de temperatura y humedad entre el área Urbana y semiurbana de la ciudad de Arequipa.

Posteriormente se realizara un mapeo de la ubicación de árboles en el área denominada como centro histórico y se determinara que especies son las más abundantes en el espacio público. Por último, se analizada como esta especie de árbol contribuye al confort térmico del transeúnte. A través de un análisis medioambiental y encuestas a los transeúntes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

II. Planteamiento Teórico

1. PROBLEMA

1.1 Enunciado del problema

La isla de calor y la incidencia de la arborización urbana en el confort térmico del centro histórico de la ciudad de Arequipa 2017.

1.2 Descripción del Problema

Área de conocimiento

Área General: Ciencias Ambientales.

Línea: Acondicionamiento Ambiental.

1.2.1 Análisis y operacionalización de las variables e indicadores.

Tipo	Variable	Indicador	Técnicas	Instrumentos
Independiente	Arborización Urbana	1. Cantidad 2. Especie 3. Distribución	1.1 Conteo 2.1 Observación 3.1 Observación	1.1.1Ficha de registro por calle 2.1.1 Fotografía de especies 3.1.2 ficha de registro 3.1.1 Mediante el programa Google earth 3.1.2 fotografías aéreas
Dependiente	Isla de Calor	característica climáticas temperatura humedad relativa.	Medición	Data Logger

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.2.2 Interrogantes de Investigación

¿Cuál es el índice de intensidad de isla de calor en la ciudad de Arequipa?

¿Cuáles son las especies mas abundantes en centro histórico?

¿Cuál es el impacto de la arborización urbana sobre la intensidad de isla de calor?

1.2.3 Tipo de Investigación

Este estudio corresponde al área de observacional, prospectivo, transversal y analítico.

Niveles de Investigación

Explicativo

1.3 Justificación del Problema

Muchas ciudades han venido creciendo de forma indiscriminada, sin una debida planificación, el aumento de asfalto, concreto y actividades humanas han generado un incremento de temperatura promedio de 4 a 6 grados centígrados en el día y por la noche hasta 10 grados centígrados (Anaya, 2008)

Las personas que viven en la ciudad están mayormente expuestas a los efectos de la contaminación del aire y el aumento de temperatura puede afectar de forma grave a la salud de las personas, hasta aumentar la posibilidad de muerte para sujetos de mayor riesgo. Por otro lado las malas condiciones climáticas afectan el uso del espacio exterior y publico comprometiendo la frecuentación y la vitalidad del espacio público ciudadano. (Nikolopoulou, et al. 2001)

Muchos de estos impactos negativos pueden ser amortiguados por la arborización urbana. Los beneficios de la vegetación en el medio urbano son conocidos, bien sea por su función estética o por su función medioambiental. El manto vegetal en la ciudad regula sus microclimas, la contaminación sonora y atmosférica, así como la velocidad del aire, la humedad ambiental y la radiación solar Además, la vegetación tiene también la capacidad (según la especie y la temporada) de filtrar la radiación solar, pues esta tiene una relación directa con la naturaleza de los materiales de las superficies urbanas y los movimientos convectivos de aire, disminuyendo el smog dome (Bernatzky, 1982)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) se recomienda que las ciudades deberían cumplir por lo menos con 9m2 de áreas verdes por habitante para tener una mejor calidad de vida a su vez la Organización de las Naciones Unidas (ONU) indica que corresponderán contar con una superficie no menor de 12 m2 de áreas verdes por habitante, todo ello con el fin de brindar la normatividad necesaria para proteger la permanencia y equilibrio de la calidad de vida de los habitantes en las ciudades.

Estéticamente los espacios públicos arbolados son mucho más atractivos por las condiciones ambientales que estos brindan, haciendo posible el disfrute del usuario que lo transita.

Desde un punto de vista ecológico la presencia de árboles en las urbes hace posible que especies de aves, pequeños mamíferos e insectos habiten en ellos, enriqueciendo el ecosistema urbano.

Todos estos beneficios se ha asociado a la calidad ambiental como un factor de calidad de vida.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. ISLA DE CALOR URBANA

A principios del siglo XX se empieza a perfilar el concepto de microclima urbano y en concreto dela isla de calor urbano, cuando estudiosos alemanes empiezan a tomar datos de concretos de temperatura en diferentes puntos de las ciudades pudiendo trazar perfiles y mapas de isotermas.

A pesar que cada ciudad mantiene características climáticas propias del lugar, están presentes condiciones que modificaran los microclimas, estos cambios se deben muchas veces a actividades antrópicas.

Se entiende como Isla de Calor a un fenómeno urbano que se genera por el aumento de calor tanto en la atmósfera como de las superficies de las ciudades (o áreas urbanas) comparadas con sus entornos no urbanizados Fig. 1. (Ward et al, 2016).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Esta modificación climática se debe a distintos factores como son la expansión urbana, el aumento de contaminación y el desarrollo de las principales actividades industriales en las áreas metropolitanas (Ghazanfari, Naseri, Faridani, & Aboutorabi, 2009)

El fenómeno de ICU está presente en todas las ciudades y es la manifestación más obvia de la influencia de la urbanización sobre el clima.

Algunos autores (Garland, 2011), la consignan como oasis *Invertido* ya que las temperaturas del aire y de las superficies son más cálidas que aquellas en sus entornos rurales.

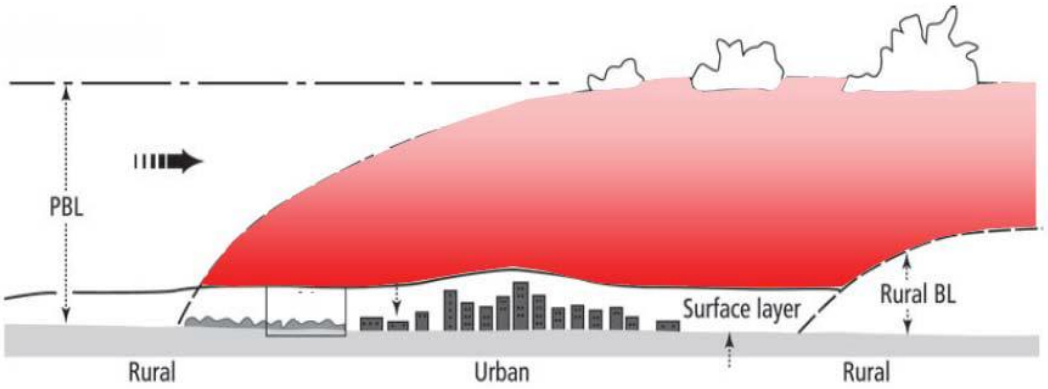


Figura Nº 1. Isla de calor Urbana (Oke TR, Boundary Layer Climates, 1978).

El efecto de ICU puede manifestarse tanto de día como de noche, su intensidad es determinada principalmente por el balance térmico de la región urbana y pueda alcanzar hasta los 10ºC de diferencia con su entorno (Tumini, 2010)

La intensidad de la isla de calor es la diferencia de temperatura entre el sector más cálido de la ciudad y el espacio no urbano que rodea la ciudad en un momento determinado.

$$ICU = T_{urbana} - T_{rural}$$

Donde:

ICU= intensidad de isla de calor

T.urbana= temperatura urbana

T.rural =temperatura rural.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Las islas de calor suelen asociarse con anomalías superficiales de temperatura, por ello, es primordial su cuantificación y caracterización, ya que son indicadores importantes de cambio, bien sean positivas + o negativas - , es decir, por encima o por debajo de los valores medios de temperatura superficial y tienen impacto inmediato sobre el ambiente y el clima local, como lo ocurrido en el año 2010 en varias regiones del globo (OMM, 2011).

La Isla de Calor es consideradas como indicadores de degradación ambiental tanto a escala local como global, en la medida que participan en la producción de condiciones adversas para la salud de la población y de los ecosistemas, como en los procesos de Calentamiento Global.(Perico-Agudelo D,2009)

Los cambios de uso de suelo y las coberturas naturales por superficies urbanas, modifican la estratificación térmica y la evaporación.(Salleh, Abd.Latif, Mohd, & Chan, 2013). Esto definitivamente alterará la temperatura y la humedad de la capa límite atmosférico. Por lo tanto, afecta notablemente la condición climática urbana y el confort térmico.(Salleh et al., 2013).

Estudios realizados por Grimmond and Oke, 1999, en la ciudad de Vancouver encontraron que las áreas boscosas son hasta 5,5°C más frías que las urbanas, mientras que los parques urbanos verdes son 1,1 °C más fríos que las áreas edificadas. Las zonas verdes, por tanto, mitigan los impactos térmicos al interior de las ciudades. (Wong et al., 2005)

Estudios recientes en New York, Calgary, Vancouver, Montreal y otras ciudades de Europa y Norte América, muestran que la temperatura urbana es 4 a 7 °C mayor que la de las áreas rurales vecinas y que hay relación directa (vía exosomática) con el tamaño poblacional. Por demás, se ha incrementado entre 1,5 y 5°C la temperatura nocturna de las grandes ciudades (Makar et al., 2006).

2.1.1. Causas de formación de isla de calor urbana

La isla de calor urbana es la respuesta de muchos factores, los cuales pueden ser catalogados como controlables e incontrolables. A su vez estos factores pueden ser clasificados como variables temporales en el tiempo, por ejemplo, la velocidad del viento o la cobertura de las nubes; como variables constantes en el tiempo como lo son las zonas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

verdes, el material de los edificios y el factor de visión del cielo; y como variables cíclicas como la radiación solar o las fuentes de calor antropogénico (Rizwan et al., 2008).

Las principales variables constantes son:

- Estructura urbana: - El volumen de las edificaciones, orientación y la distancia entre ellas afectan con la exposición de las superficie urbana a la radiación solar (Johanson, 2006 Lin et al 2010 Kruger et al, 2011 Andreou, 2013).
- La forma y disposición de los edificios influyen en el microclima urbano en diferentes aspectos: cantidad de radiación entrante, directa en indirecta en la absorción de onda corta y la emisión de onda larga, por ejemplo las calles estrechas reducen el aprovechamiento solar, pero a la vez dificultan la ventilación y de consecuencia la disipación del calor acumulado por edificios y calles en las horas nocturnas (Giridharan, 2007)
- Coberturas de la superficie urbana – Las características de los materiales de las superficies urbanas tienen la capacidad de absorber, almacenar y emitir calor esto depende mucho del color, textura y tipo de cobertura (área pavimentada, área con vegetación, agua). La alta capacidad térmica y absorción de las materiales sumada a la extensión de las superficies expuestas, sobre todo por las superficies horizontales son significativas en el aumento de la temperatura de las ciudades. Eso se traduce en el aumento de las temperaturas sobre todo en las horas más frías, reduciendo la amplitud térmica y dificultando el enfriamiento nocturno (Davies, Steadman y Oreszcyn ,2008)
- El intercambio de calor se da sobre todo en la madrugada (Karatasou, et al, 2006). Debido a la falta de vegetación también se presenta el efecto de ICU. La investigación realizada por Kondoh (1999), ha demostrado que el decremento en zonas verdes en Tokio de 1972 a 1995 ha reducido la evapotranspiración un 38%, elevando de manera proporcional la temperatura urbana. (Sangines, 2013).
- Edificaciones La proporción de viviendas área industrial caminos, espacios abiertos zonas verdes y tierras eriazas afectan la intensidad y la distribución de isla de calor, la falta de suficiente vegetación como característica común de las ciudades contribuye a la acumulación de calor en masa térmica de las eficiaciones (Gartland,2008 Wong and Jusuf,2010 Cautts et al. 2012)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Metabolismo urbano. La vida en las ciudades está relacionada con el consumo de energía y a la vez con el desperdicio de ésta (Zoologique, Soltani, & Mokhtar, 2016) Este impacto antropogénico esta producido generalmente por la utilización de aire acondicionado y el transporte (Arnfield 2003, Ichinoce et al 2008, Rizwan et al 2008, Samuels et al. 2010).

Las Variables temporales:

Son las condiciones climáticas y anticiclónicas que incrementan la ICU (Pongracz et al., 2006). La velocidad del viento y la cobertura de las nubes son factores directamente relacionados con el efecto ICU (Kim y Baik, 2005).

La ICU varía a lo largo del día, alcanzando su máximo efecto pocas horas después de la puesta del sol. Esto es debido a que la energía absorbida por las superficies urbanas es liberada lentamente en comparación con las superficies rurales. (Sangines, 2013). El efecto ICU puede variar a lo largo del día y alcanzar su máximo efecto durante la puesta del sol esto se debe a la energía absorbida por las superficies de las edificaciones urbanas las cuales liberan esta energía de forma lenta en comparación de los que sucede en las áreas rurales. Se considera valores razonables del efecto entre 5 y 8ªC pero Klysiket et al. (1999) encontró valores que superan los 12ªC en Polonia.

El menor efecto de ICU se presenta generalmente en las primeras horas de la mañana, pudiendo ser las zonas urbanas más frescas que las rurales. La presencia de una isla de frío urbano (≤0) puede ocurrir con diferente frecuencia e intensidad dependiendo de la climatología regional del entorno urbano.

En el verano superficies sin sombra en áreas urbanas absorben significativamente la radiación solar. Sobre superficies secas, casi el 50% de la energía absorbida es devuelta a aire generando temperaturas más altas (Oke, 1987). A mayor temperatura ambiental se acelera la reacción fotoquímica de los contaminantes atmosféricos que generan el smog, causando también incomodidad a los peatones.

2.1.2. Efectos

El aumento de temperatura en ciudades contribuyen al calentamiento global (Epa, 2016) esto conlleva al aumento en el consumo energético de las edificaciones (Santamouris et al. 2015). Si bien es cierto en nuestra ciudad no hay un uso generalizado

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

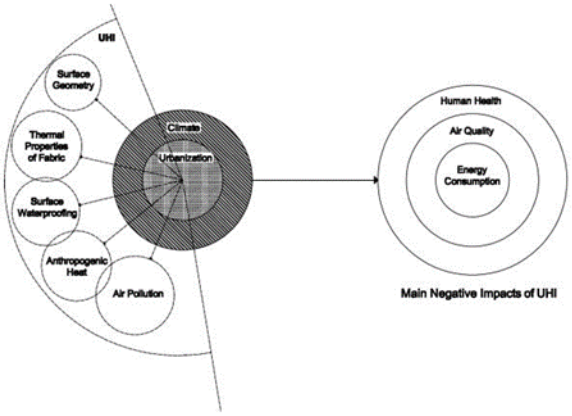
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

de estos sistemas, nos damos cuenta de que la reglamentación actual exige a los establecimientos comerciales contar con sistemas de refrigeración.

La exposición física a elevadas temperaturas durante el mediodía conlleva a una mayor vulnerabilidad al estrés térmico por las noches y a mayor estrés térmico o disconfort mayor es la demanda de energía para refrigeración aumento de consumo de agua potable.

Figura Nº 2. Efecto de los factores de urbanización en la formación de Isla de Calor Urbana y su impacto negativo.



Fuente:P. Shahmohamadi *et* al.

Las Islas de Calor (ICU) contribuyen a generar contaminantes fotoquímicos, zonas de convergencia de aire contaminado y disconfort térmico, especialmente durante los días de verano y sobre las áreas con mayor edificación, menor vegetación y más altas tasas de impermeabilización. (Salleh et al. 2013).

La ICU está estrechamente relacionada con el clima de la región y puede mostrar ciclos diurnos y estacionales; en áreas urbanas, pueden tener el efecto de subir las temperaturas unos 6 a 10 grados (City of Chicago, 2002).En el caso de Seúl, Corea, durante el periodo de 1973-1996, el promedio máximo de la intensidad de la ICU fue más fuerte en otoño e invierno que en verano. De manera similar a otros estudios previos de otras ciudades, la intensidad máxima de la ICU se observa de manera más frecuente durante la noche que en el día y puede modificarse por las condiciones del viento y las nubes. (Kim y Baik. 2005).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El aumento de la temperatura tiene serias consecuencias para la salud del hombre y del medioambiente. Los Nox, producidos en los procesos de combustión a alta temperatura, son un precursor para la formación del ozono troposférico (O3), un gas toxico de color azul, principal contaminante de lo que se define como smog fotoquímico. La producción de O3 se produce bajo la acción de los rayos solares y es mayor en los meses más calurosos y en las horas de mayor soleamiento.(Tumini, 2010).

El efecto UHI también implica el peligro de lesiones relacionadas con el estrés térmico que pueden amenazar la salud de los habitantes de las ciudades (Wong, N. H. y Chen , 2009)

2.1.3. Mitigación de Isla de Calor en espacios Urbanos

Sobre aspectos de mitigación se consideraron relaciones generales que pueden ajustarse a las circunstancias particulares, entre las estrategias se encuentran, los árboles y vegetación, edificios reflectantes, pavimentos fríos, techos verdes, entre otros (Fernández García, 2009). Se consideran elementos de mitigación sobre superficies de transporte (Wan and Hien, 2012), áreas urbanas y techumbres.

La modificación de las condiciones microclimáticas en espacios abiertos ayuda a regular la temperatura y humedad, además de mejorar la calidad del aire al capturar el dióxido de carbono (Pena-Salmon y Rojas-Caldelas, 2009; Bochaca y Puliafito, 2009).

Se presenta a continuación algunas de las principales medidas de mitigación del efecto de isla de calor que pueden aplicarse en el entorno urbano, en este caso específico se limita a medidas que se pueden aplicar en espacios construidos.

Uso de la vegetación: la sustitución del manto vegetal por superficies artificiales tienes efectos directos e indirectos sobre la isla de calor urbana. Se definen como efectos directos aquellos relacionados directamente con los edificios y su contexto, debido a la protección solar de fachadas y huecos, la reducción de la absorción y la creación de vientos. Indirectos son aquellos que afectan al entorno urbano principalmente mediante la evapotranspiración, que en general influye en el flujo latente del balance energético del espacio (Tumini, 2010)

Tanto la arborización como las azoteas frescas o reflexivas son consideradas por Lynn (2009) como estrategias de mayor eficacia para mitigar la ICU.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En los sistemas urbanos las áreas verdes expresan más sombra, frescura, refugio a la lluvia, humedad y filtración de aire, en contraposición con las edificaciones que son estructuras que almacenan calor (Oke, 1987; Olgyay, 1968; Huang et al., 2007)

Con base en lo anterior, la investigación se centrará en la arborización urbana como medio de mitigación de isla de calor

2.1.4. Estudios sobre la isla de calor urbana

En el siglo 19 Howard comparo la isla de calor en la ciudad de Londres reportando un aumento de 2.5 ºC con respecto a las áreas periurbanas. La variación mayor se dio con 3ºC en los mes de febrero durante el invierno (Gartland, 2008).

El primer acercamiento a la ICU se realizó en 1996 a través de un estudio que utilizó imágenes satelitales (NOAA AVHRR), y en el cual se identificaron una serie de islotes de alta emisión térmica que coinciden con la localización de zonas con actividad industrial de comercio y servicios, las cuales constituyen zonas de alto grado de urbanización en la ciudad (Toudert, 1996). Posteriormente García-Cueto *et. Al.,* (2007) utilizando imágenes NOAA AVHRR y Landsat ETM+, así como mediciones de la temperatura del aire, analizaron tanto la ICU atmosférica como la superficial y su relación con los usos del suelo. Los resultados confirman la existencia de una ICU superficial al comparar la ciudad con sus alrededores, además de identificar importantes contrastes térmicos al interior de la ciudad y el desarrollo de una ICU nocturna. Los mayores contrastes térmicos observados en este estudio son con valores superiores a los 40 °C entre el área urbana y el área agrícola circundante, esto en los meses de julio y agosto. Dos años después García-Cueto *et. Al.,* (2009) utilizando una base de datos de 1950 al año 2000, realizan un análisis temporal y espacial de la temperatura del aire en el dosel urbano de la ciudad y sus alrededores; en éste estudio quedó de manifiesto la presencia de una masa de aire tibio nocturna en la atmósfera urbana, donde la diferencia máxima entre la ciudad y sus alrededores ocurre en invierno con un valor de 5.7°C.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.2. ARBORIZACION URBANA

Se entiende como el manejo de los árboles para su contribución al bienestar fisiológico, sociológico y económico de la sociedad urbana.(Reyes & Gutiérrez, 2010). Se denomina a la cobertura vegetal que se existente en las ciudades ocupando espacios tales como áreas libres de uso público, áreas libres particulares y áreas paralelas al sistema vial. (Sibeli, 2009) Los elementos vegetales de tipo arbóreo dentro de la zona urbana, bajo este enfoque, los árboles plantados en las calzadas forman parte de la arborización urbana, pero no integran el sistema de áreas verdes (Lima, 1994)

En estos términos, es importante considerar que los componentes de la estructura urbana se interrelacionan de forma dinámica e interdependiente formando una unidad funcional donde el espacio, juega un papel fundamental al constituirse como la expresión física de la ciudad, además del lugar donde se interrelacionan las diferentes actividades de la población (Schjetnan, 1984 Lynch, 1984).

2.2.1. Beneficios de las áreas verdes urbanas

Los árboles urbanos pueden mitigar muchos de los impactos ambientales del desarrollo urbano: moderan el clima; conservan la energía, bióxido de carbono y agua; mejoran la calidad del aire; disminuyen la escorrentía pluvial y las inundaciones; reducen los niveles de ruido, y suministran el hábitat para la fauna silvestre (Krishnamurthy, 1998).

Del 100% de la energía solar incidente, las plantas absorben para la fotosíntesis aproximadamente el 5-20%, reflejan 5-20%, disipan por evapotranspiración 20-40%, emiten 10-15% y transmiten el 5-30% (Bansal et al,.1994).

La aplicación inmediata del uso de vegetación es la de proporcionar sombra, sin embargo, la vegetación tiene efectos sobre la radiación solar.

2.2.2. Acciones Climáticas

2.2.2.1. Variación en la temperatura y humedad del aire

La reducción de la temperatura ambiente y el aumento en la humedad del aire en presencia de vegetación se debe al efecto de sombra proyectada sobre las diversas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

superficies, pero sobre todo al fenómeno de la evapotranspiración, que es el efecto de enfriamiento evaporativo del agua que transpiran las plantas, otra pequeña contribución se debe a la humedad del suelo. Sin embargo, el efecto de un árbol aislado no es muy significativo, ya que desaparece rápidamente debido a los movimientos del aire, ya sea por viento o convección. (Ochoa de la Torre, 1999).

Estudios demuestran que la vegetación a través de la fotosíntesis y transpiración puede reducir la temperatura y aumentar la humedad, comparándose como regulador de temperatura.

Ballester- Olmos (1991) afirma que la vegetación influye directamente sobre la temperatura de la ciudad, amortiguando los rigores estivales y disminuyendo la intensidad de las islas de calor.

La temperatura de la superficie dentro de un espacio verde puede ser 15-20 ° C más baja que la del área urbana circundante, dando lugar a temperaturas más frías del aire de 2-8 ° C y un efecto de enfriamiento que se extiende hacia el área circundante (Akbari, Rosenfield y Taha, 1990)

Basado en modelos matemáticos, Honjo y Takakura (1990-91) sugirieron que un espacio verde de 100 m de ancho se enfría a una distancia de 300 m y un espacio verde de 400 m de ancho se enfría a una distancia de 400 m. Recomendaron que los espacios verdes no estén a más de 300 m de distancia para un enfriamiento óptimo dentro de un vecindario.

Pero cuando se trata de un microclima aislado de los sistemas atmosféricos predominantes, entonces si es posible apreciar los efectos de la vegetación. Un ejemplo serían los grandes parques en áreas densamente urbanizadas, rodeados de edificios altos en todos sus costados, o bien los patios interiores de manzana y de los edificios.

Sobre el efecto refrescante de la vegetación en ambientes urbanos se encontraron algunas referencias. , al respecto Oke 2002 reporta, en mediciones hechas en distintas ciudades, diferencias de temperatura ambiente de más de 3°F, entre parques urbanos y las zonas edificadas circundantes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El área de sombra generada por el follaje de los árboles junto con la evapotranspiración propia de su metabolismo, reducen notablemente la temperatura del aire.

Si los árboles se plantan de manera estratégica, de modo que al área de sombra se proyecte sobre los volúmenes arquitectónicos y el aire que ingrese a ellos esté más fresco, estos se calentarán menos, y, en consecuencia, reducirán, no solo las demandas de energía para equipos de aire acondicionado sino las emisiones de CO2 producidas en las plantas de generación de energía (McPherson, 2007; Rosenfeld et al, 1998; McPherson & Simpson, 2003).

2.2.3. Variación en la velocidad y dirección del viento

El movimiento del viento afecta el confort humano, el efecto puede ser positivo o negativo dependiendo de la presencia o ausencia de vegetación urbana. El viento puede incrementar el enfriamiento evaporativo durante el día. Durante el verano, el movimiento del aire tiene relativamente poco efecto sobre la temperatura del aire a menos que el viento sea parte de un frente frio. Los árboles reducen la velocidad del viento y pueden crear áreas protegidas del lado de sotavento y también de barlovento. Por consiguiente, los árboles interfieren con los procesos de enfriamiento evaporativo, haciendo que las temperaturas permanezcan altas en áreas protegidas (Rivas, 2001).

Los árboles y arbustos controlan el viento por obstrucción, por conducción, por desviación y por filtración. El efecto y el grado de control varían con el tamaño de especies, la forma, la densidad y la retención del follaje.

La obstrucción implica la ubicación de los árboles para reducir la velocidad del viento al incrementar la resistencia al flujo del aire. Una correcta ubicación de los árboles puede eliminar corrientes de aire alrededor de las esquinas o la entrada de los edificios. El ancho de la cortina tiene poco efecto en la reducción de la velocidad del viento, en cambio favorece el microclima dentro del área propiamente dicha de la cortina. (Rivas 2001)

La protección de una cortina de 10 m de ancho y 15 m de alto puede ser 20 veces su altura (300 m), aunque los principales efectos se producen en los primeros 240 m 816 veces su altura. Por lo general en la zona de protección de la cortina la velocidad del viento se reduce en un 60 %, la evaporación en un 35 %, en áreas de regadío se puede

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ahorrar un 10 % como media, se incrementa la cantidad de rocío un 70 %, la humedad del suelo en un 20 %, la temperatura del aire en un 15 %, lo que resulta ventajoso en las regiones con periodos vegetativos cortos, pero desventajoso en las regiones de veranos calurosos, la temperatura del suelo aumenta en un 10 % durante el día, adelantándose el periodo de desarrollo vegetativo al comienzo de la estación, y la humedad del aire aumenta en un 5 %. (Miguel, Pontereau, Steiner y Hickie, 2004)

En zonas suburbanas, con predomino de viviendas unifamiliares, los efectos de la vegetación sobre el viento son más apreciables, se encontró que incluso árboles dispersos, pueden tener un efecto significativo.

Además del papel del tamaño del espacio verde, la extensión del área enfriada alrededor de un espacio verde está influenciada por el tipo y la composición de la vegetación en el espacio verde. Potchter, Cohen y Bitan (2006) encontraron que árboles altos y anchos y una mayor cobertura de árboles / arbustos resultaron en parques más fríos en comparación con los alrededores. De manera similar, Yu y Hien (2006) informaron que la temperatura ambiente en un parque estaba fuertemente correlacionada con la densidad de las plantas.

Dependiendo de la densidad de construcción, existe un aumento del 10 % en el área cubierta por árboles, puede reducir del 10 al 20 % la velocidad del viento, y uno del 30 % puede reducirla del 15 al 35 % (Ochoa de la Torre, 1999)

Un estudio realizado en la ciudad de Barranquilla, Colombia, evidenció que el aire bajo la sombra de los árboles —a mediodía en un día soleado— es hasta 11,90 grados centígrados menor que la temperatura del aire a pleno sol.

La reducción de la temperatura depende de características propias de cada especie, como la densidad del follaje, el diámetro de copa o el color de las hojas, entre otras variables (Jiménez, 2008).

En regiones templadas los árboles caducifolios son los más adecuados controladores de calor. En el verano ellos interceptan la radiación solar y bajan la temperatura bajo su dosel protector; en el invierno la pérdida de sus hojas da como resultado un calentamiento al incrementar el paso de la radiación solar. Las copas de los árboles no permiten la perdida de calor de las superficies urbanas, hacen de pantalla entre el aire frío nocturno y los materiales superficiales calientes. De ahí que las temperaturas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

nocturnas sean más altas bajo los árboles que en áreas abiertas Lo contrario sucede en ciudades donde la temperatura ambiental es muy alta en horas del día. Se ha comprobado que los jardines y plantas ornamentales disminuyen la temperatura local hasta en 10 °C y la temperatura global hasta en 1 °C.

2.2.3.1. Variación de la incidencia de radiación solar

Desde el punto de vista del control de la radiación solar las especies más interesantes son las caducifolias. Para climas templados el árbol ideal, sería aquel tuviera la más baja transmisividad en verano y la más alta durante el invierno. También sería deseable que el ciclo de foliación ocasionara variaciones de la transmisividad en armonía con las necesidades de calentamiento y enfriamiento de los espacios urbanos y arquitectónicos.

Según Brown & Gillespie, del total de la radiación visible, solamente 10% es reflejada y 10% es transmitida a través de las hojas. Por el contrario, cerca del 30% de la infrarroja es transmitida, 40% reflejada y solo 20% absorbida.

Los árboles, arbustos y el pasto mejoran la temperatura del aire en los ambientes urbanos mediante el control de la radiación solar. Las hojas de los árboles interceptan, reflejan, absorben y transmiten la radiación solar; en el invierno, la pérdida de estas da como resultado un calentamiento al incrementar el paso de la radiación. El dosel actúa como una cobija haciendo que la temperatura no varíe tanto como en un lugar abierto (Rivas, 2001).

2.2.4. Impactos no climáticos de la vegetación

Calidad de Aire

Reducen las concentraciones de CO2 en la atmósfera. Reducen el contenido de partículas en suspensión; las partículas son absorbidas o retenidas en la superficie de la planta y posteriormente lavadas por efecto de la precipitación. Remueven los gases de la atmósfera González, 2007; Ziegler, 1973). Durante el proceso de fotosíntesis —gracias a una reacción química catalizada por la luz del sol— el CO2 que se encuentra en la atmósfera ingresa en las hojas de las plantas a través de sus poros superficiales, se combina con agua y se transforma en celulosa, azúcares y otros elementos. La mayor

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

parte de estos elementos se fijan en las diversas partes de la planta y son la base de su crecimiento y desarrollo (Larcher, 1980). Los árboles son excelentes contenedores de CO2 a largo plazo, pues lo almacenan en sus partes leñosas durante décadas e incluso siglos, lo que depende de la longevidad de cada especie (Kuhns, 2007). El CO2 capturado por los árboles —durante su etapa de crecimiento— pasa a ser parte de su biomasa. Ciertas plantas pueden absorber contaminantes del aire, tales como S02 y N02 el contaminante menos absorbido, sin embargo, es el CO2 el que responde casi a la mitad del peso total de los contaminantes emitidos a la atmósfera. (Corzo, 2007).

Efectos de temperatura en las construcciones

La vegetación tiene un moderado efecto en las temperaturas, llegando en algunos casos a reducir una considerable energía (Bolund y Huhammar, 1999; Peck y Callaghan, 1999; MacDonald, 1996; Gangloff, 1995; Heisler et al., 1995; Laverne y Lewis, 1995; McPherson et al., 1995; Dwyer et al., 1992; McPherson, 1991).

A todo esto hay que añadir que la vegetación ayuda a mitigar el efecto de las islas de calor Peck y Callaghan, (1999). Las superficies duras y acristaladas de las edificaciones reflejan la radiación solar, devolviéndola a la atmósfera en forma de energía. La vegetación absorbe esta energía y usa el 80% de ella para su subsistencia y para la creación de biomasa. Solo el 20% de la energía solar es reflejada de la vegetación y devuelta a la atmósfera. (Gonzales, 2002). El calor emitido por la temperatura de las edificaciones e industrias y emisiones vehiculares aumentan las temperaturas 8°C más que las áreas rurales.

McPherson et al., (1999) afirmó que en Chicago, un aumento del 10% de la cobertura del arbolado (tres árboles más por edificio) podría reducir la energía usada para calefacción y refrigeración entre un 5-10%.

Reducción de la polución acústica

Las hojas y ramas reducen el sonido transmitido, principalmente la temperatura mientras el suelo lo absorbe (Aylor, 1972). Para la reducción óptima del ruido, los árboles y arbustos deberían ser plantados cerca del origen del ruido y no cerca del área receptora Cook y Van Haverbeke, (1971). Cinturones anchos de 30m de árboles altos y densos,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

combinados con superficies suaves del suelo pueden reducir los sonidos entre un 50% o más (Cook , 1978).

La reducción del ruido es de 3 a 5 decibelios siempre y cuando la vegetación sea densa antepuesta por una hilera de arbustos Reethof y McDaniel, (1978)

2.2.5. Mecanismos de enfriamiento de la vegetación

2.2.5.1.Evaporación enfriamiento y evo transpiración.

Aunque se denomina ‘enfriamiento por evaporación’, no se está enfriando como tal, sino ‘calentando menos’ (Gill, 2007). A través de la evaporación, la energía entrante se usa para convertir el agua en vapor de agua. La energía se usa para impulsar el proceso de evaporación en lugar de transferirla al calor sensible que sentimos, por lo tanto, la temperatura del aire es menor (Oke, 1987). Cuando el agua está dentro de una planta, en sus superficies o en el suelo, el proceso se denomina evapotranspiración.

La vegetación es más escasa en las ciudades que en el campo, lo que reduce el enfriamiento a través de la evapotranspiración y gran parte de la superficie está sellada, lo que reduce el enfriamiento por evaporación. Este es un colaborador principal de UHI.

Los árboles y la vegetación en general han sido llamados acondicionadores naturales del aire. Un solo árbol puede transpirar aproximadamente 400 litros de agua al día.5 (Wiesner, 2004)

2.2.5.2.Reflectancia

El grado en que la energía solar calienta el medio ambiente urbano está relacionado con el albedo superficial o la reflectancia de la radiación. Menos reflectancia significa que se absorbe y almacena más energía para calentar el ambiente local. Un albedo urbano inferior (comúnmente 15% versus un albedo rural de 20-25%) resulta en una absorción relativamente mayor que en el entorno rural.

2.2.5.3.Sombreado

Sombra combate el UHI de tres maneras complementarias y aditivas. En primer lugar, al limitar la penetración solar, el sombreado restringe el almacenamiento de energía y el calentamiento del entorno local que posteriormente ocurre. En segundo lugar, el sombreado reduce la ganancia directa de energía a través de las ventanas y el resultante

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

efecto invernadero “interno”. La reducción de la demanda de aire acondicionado conduce a ahorros de energía y costos y reduce la emisión de energía térmica residual. Finalmente, el sombreado protege a las personas de la exposición directa al sol, lo que es importante ya que se ha sugerido que la incomodidad térmica se relaciona más con una mayor exposición a la radiación que temperaturas más altas (Emmanuel y Johansson, 2006).

La magnitud del enfriamiento generada por la sombra de un árbol depende de la forma de la corona (lo mejor es ancho) y la densidad. Los árboles densos bloquean más radiación solar entrante, lo que reduce el calentamiento solar, pero también reducen la infiltración de la luz.

La magnitud del enfriamiento también depende de la tasa de crecimiento y la longevidad de los árboles, y de la sombra del árbol en relación con el edificio. McPherson (1999) calculó el valor del sombreado en Fresno, California, como 2.5 veces mayor que el del enfriamiento por evapotranspiración. Sin embargo, en climas templados, el papel del sombreado y la evapotranspiración son aproximadamente iguales.

2.2.6. Selección de Arborización.

La elección de árboles en el ámbito urbano y su ubicación deber ser un proceso consiente, ya que éstos contribuyen significativamente con la calidad ambiental de las ciudades no de forma inmediata sino cuando alcanzan madurez, por lo tanto, es importante considerar el clima actual, pero proyectarnos al clima futuro.

La selección de especies debería considerar lo siguiente:

• Tolerancia al calor (especialmente a temperaturas ambiente extremas): las especies más frescas a 25 ° C no son necesariamente más frescas a 35 ° C (Leuzinger, Vogt y Körner, 2010).

• Tolerancia a la sequía: diferentes especies de árboles, variedades, cultivares y procedencias pueden variar en su demanda de agua y tolerancia a la sequía (Niinemets y Valladares, 2006).

• Tolerancia a plagas, enfermedades y contaminación: las especies y variedades de árboles varían en las plagas y enfermedades que albergan. Además, la reducción del vigor causado por las tensiones ambientales urbanas (como la contaminación del aire y el déficit

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de humedad) puede predisponer a los árboles a problemas de salud adicionales, particularmente a la infestación de insectos (Mattson y Haack, 1987).

• Disponibilidad de zona de enraizamiento y sensibilidad a la compactación: raíz la idoneidad de la zona es crítica para la longevidad de un árbol joven. En entornos urbanos densos, el suelo adecuado para el crecimiento, el espacio de enraizamiento disponible, la humedad, el oxígeno y la disponibilidad de nutrientes determinan en gran medida el tamaño que alcanzará un árbol durante su vida útil (Urban, 2008).

2.3. CONFORT TÉRMICO

"Un individuo se encuentra en situación de confort térmico cuando no es capaz de precisar si prefiere un ambiente más frio o más caliente" (Alvares et al, 1992)

El confort térmico es definido por la American of Haeting, Refrigerating and air – Conditioning Engineers (ASHRAE) define el confort térmico como: "La condición mental que expresa satisfacción con el entorno térmico" Es decir, el punto de equilibrio entre las sensaciones psíquicas y fisiológicas del ser humano y su entorno inmediato, por lo que se considera al confort térmico como un estado mental en al que se involucran variables objetivas y subjetivas entre el cuerpo humano y su contexto.

La Ergonomía considera el confort térmico, como una variable que sintetiza las condiciones de equilibrio entre la temperatura ambiente y la temperatura del cuerpo (37º C).

A partir de los principios y objetivos de la Bioclimática, los arquitectos y urbanistas han mostrado interés por el tema y lo han incluido como una variable más del proceso de diseño. (OLGAY)

Concluimos entonces que las variables, nivel de actividad, características del vestido, temperatura seca, humedad relativa, temperatura radiante, velocidad del aire influyen en los intercambios térmicos, hombre-medio ambiente y contribuyen a la sensación de confort.

La ASCHRAE (ASCHRAE Handbook Fundamentals, 2005) indica que la determinación de los niveles de humedad de la zona de confort son poco precisas. La baja humedad causa diferentes reacciones en el ser humano como es sequedad en las mucosas, molestias en los ojos, garganta etc., El exceso de humedad tiende a generar incomodidad

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

tanto psicológica como física , el efecto de transpiración , aunado el hecho de la fricción de la vestimenta con la piel humedad entre otros. (Lopera y Ambiental, 2007)

2.3.1. Índices de confort térmico

Los estudios sobre el confort bioclimático tienen dos enfoques: Sistémico o empírico, basado en la combinación de diversas variables meteorológicas ignorando la sensación térmica en las personas y el analítico o relacional basado en el balance energético humano. (Morgan y Basquett 1974).

Índices Empíricos:

Los índices empíricos ignoran la fisiología humana, la actividad, la ropa y otros datos personales, tales como la altura, peso, edad, sexo.

- ET *(Effective Temperature index)*: uno de los más antiguos índices todavía utilizados: sensación que se experimenta a una temperatura y humedad dadas y en calma. Este índice relaciona la temperatura ambiente (TºC) y la humedad relativa (HR%), para calcular la Temperatura Efectiva (TE):

$$TE = T - 0.4\,(T-10)*(1 - HR/100)$$

Donde:

ET= temperatura efectiva

T= es la temperatura ambiente en ºC

HR=la humedad relativa (en %).

Revisado a lo largo de los años, el aporte de Gagge, *et al.* (1971), lo convirtió en un índice racional: El índice de confort TE se define como la sensación que se experimenta a una temperatura y humedad dadas, con aire saturado y en calma; válido para un sujeto joven, sano, aclimatado al sitio, con vestimenta ligera y sometido a una actividad ligera, (Sánchez de Carmona 1984).

El presente estudio de investigación se realizó tomado el índice anteriormente expuesto.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- THI *(*Thermohygrometric *Index)*: parte del índice de disconfort (DI) de Thom (1959).

Unger (1999) lo utiliza para comparar de un modo sencillo las condiciones de confort de un ámbito rural frente a uno urbano. Los rangos utilizados para la clasificación del grado de confort, se han desarrollado en ciudades de latitudes medias; constituye un índice aplicado particularmente para establecer las condiciones de confort en espacios abiertos (Tricoire, 2003; Correa *et al.*, 2010).

- ASV *(Actual Sensation Vote):* analiza espacios abiertos en contextos urbanos, al combinar el ambiente físico con requisitos de satisfacción de los usuarios, y genera herramientas que permiten evaluar varios aspectos que influyen en la percepción del espacio. Fue desarrollado en el marco del *proyecto* RUROS (Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces), coordinado por el Centre for Renewable Energy Sources, Greece (2004). Se ha aplicado hasta el momento solo en países europeos, por lo que las fórmulas utilizadas, se adaptan a ciudades con temperaturas entre 5ºC y 35ºC.

- TGI o EQI (Thermohygrometric Global Index o Environmental Quality Index): propuesto por Cannistraro et al. (*2014*) resulta una herramienta innovadora para evaluar la calidad del medio ambiente exterior. Estudia parámetros climáticos tales como temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad de viento. Estos Parámetros objetivos, se comparan con el bienestar subjetivo, a través de parámetros obtenidos por medio de cuestionarios.

Al no tener en cuenta aspectos Específicos de una ciudad tales como el tránsito, el grado de urbanización, la contaminación del aire, sus resultados se proponen como comparables a nivel internacional. Al mismo tiempo puede obtenerse para diferentes lugares de la misma ciudad permitiendo la construcción de un mapa de confort higrométrico, orientado al logro de una mejor planificación urbana, por ejemplo, mejorar el confort térmico a través de la construcción de áreas verdes.

Índices Racionales

-PMV (Predicted Main Vote) y PPD (Predicted Percentage Dissatisfied): desarrollados por Fanger

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Para la valoración del confort térmico. Este método es en la actualidad uno de los más extendidos para la estimación del confort térmico, la optimización de sistemas de calor, ventilación y aire acondicionado.

- PET (Physiological Equivalent Temperature): se define como la temperatura fisiológica Equivalente en un lugar dado (bajo techo o a cielo abierto).

- OUT-SET* (Out Standard Effective Temperature): es similar al índice de temperatura Efectiva revisado (ET*), pero con la inclusión de la variable "vestimenta" Confort Fórmula (COMFA): es un modelo térmico propuesto para la evaluación de las condiciones de confort en espacios abiertos, basado en el balance de energía de una persona.

- UTCI (Universal Thermal Climatic Index): basado en la valoración de la respuesta fisiológica (Jendrizky, 2012).

- THSW (Temperature Humidity Sun Wind): su fórmula fue inicialmente desarrollada por Steadman (1979) y utiliza la humedad para calcular la sensación térmica.

- IZA (Índice de Confort Térmico para ciudades de zonas áridas): desarrollado por Ruiz y Correa (2015) para Mendoza, Argentina.

2.3.2. Indicadores del confort térmico.

Las condiciones de confort han sido ampliamente estudiadas en diversos Indicadores de Sostenibilidad Ambiental, la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona AEUB, en distintos documentos ha ido fijando las condiciones necesarias para obtener espacios térmicamente confortables.

El Indicador **"Dotación de árboles según la proyección vertical de sombra en el suelo"** pretende alcanzar un mínimo de 50% de horas útiles en condiciones de confort al día (6 horas) y el Indicador **"Potencial de habitabilidad térmica en espacios urbanos"** indica el porcentaje del tiempo en el que una persona se encuentra en condiciones críticas, tolerantes o de confort térmico en función de las características de los materiales, la configuración espacial y las condiciones del microclima. *(Agencia de ecología Urbana de Barcelona AEUB(* http// bcnecologia.net)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

De esta manera, intentar definir un rango de confort térmico del espacio público deberá asociar dos tipos de indicadores: 1) objetivos correspondientes a medidas *in situ* y en tiempo real y 2) subjetivos correspondientes a percepciones humanas. Este análisis permitirá poner en perspectiva la cuantificación del confort térmico de un espacio público a partir de su cualificación.

Podemos decir que el confort también depende de la tipología del espacio público en el que nos encontremos si es una calle, una plaza, un parque…y de las funciones y usos que de ellos hace el ciudadano. A su vez depende de las personas que utilizan ese espacio, si son niños, jóvenes, adultos o ancianos, cada uno de ellos demandara unos niveles y condiciones de confort a la hora de satisfacer sus necesidades, por tanto, aunque no es aplicable al confort una perspectiva de género como tal, sí que es percibido y sentido de diferente manera según la edad y las necesidades de la población que usa y disfruta del espacio público.

Evidentemente, los árboles existentes en la plaza también generan cambios puntuales en el confort térmico debido a su influencia en el balance radiactivo y el efecto de la evapotranspiración de la vegetación. (Acero, Moral, & Arrizabalaga, 2010)

De esta manera, intentar definir un rango de confort térmico del espacio público deberá asociar dos tipos de indicadores: 1) objetivos correspondientes a medidas in situ y en tiempo real y 2) subjetivos correspondientes a percepciones humanas. Este análisis permitirá poner en perspectiva la cuantificación del confort térmico de un espacio público a partir de su cualificación urbanos(Perico-agudelo, 2009)

American Forests (una ONG involucrada en el tema) recomienda al menos un 40% de cobertura de dosel arbóreo para las ciudades. De hecho, muchas ciudades están estableciendo metas para sí mismas. Washington, D.C., que tiene un dosel arbóreo de 35%, tiene la meta de aumentar el dosel hasta el 40% antes del 2035. Para lograr esta meta, un total de 216,300 árboles tienen que ser plantados, lo que equivale a plantar 8,600 árboles por año en las próximas dos décadas. (El cálculo fue hecho por Casey Trees que es otra organización muy activa en el tema en DC), y tiene en cuenta una tasa de mortalidad de árboles por año del 6%, y supone que 100 árboles es 0.4 hectáreas). Este

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

cálculo se puede hacer mediante fotos aéreas o con el software ArcGIS para mapear, medir, y cuantificar los beneficios de dosel arbóreo urbano.

2.3.3. Confort urbano y zonas verdes

En la Agenda 21, 2005 se establecía para el indicador de **Zonas verdes útiles**, cuatro subapartados o indicadores relacionados:

- m2 de zona verde por habitantes
- nº de árboles por habitante (La Organización Mundial de la Salud recomienda que en las ciudades se alcance el estándar de al menos 1 árbol por cada 3 habitantes, lo cual arrojaría una ratio de 0.33)
- masa foliar productora de sombra
- porcentaje de especies autóctonas de vegetación

Estudios recientes en el desierto de Negev de Israel utilizando una superficie urbana a escala al aire libre (el modelo OASUS) mostraron que la proporción de calor latente disipado está directamente relacionada con la "fracción vegetada completa", o la relación entre el área vegetada total Av y la completa área de superficie urbana tridimensional Ac (Pearlmutter et al., 2009). Esto indica que el enfriamiento por evaporación depende no solo de la extensión de los espacios verdes urbanos sino también de la altura y densidad de los edificios dentro del tejido urbano.

Las causas de estas reducciones de temperatura del aire incluyen no solo el enfriamiento directo y la humidificación del aire por transpiración y evaporación superficial, sino también la moderación del intercambio de calor superficie-aire radiante y convectivo debido a las temperaturas más bajas de suelo sombreado y / o vegetativo. Elementos de construcción

Se ha observado repetidamente que debido al predominio de la radiación en entornos áridos y cálidos, la temperatura del aire por sí sola no es necesariamente un indicador sólido del confort térmico general para los peatones en el espacio urbano (Ali-Toudert y Mayer, 2006; Johansson, 2006; Pearlmutter et al., 2006).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3. ANALISIS DE ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

The role of vegetation in mitigating urban land surface temperatures: a case study of Munich, Germany during the warm season.

Sadroddin Alavipanah,, Martin Wegmann , Salman Qureshi, Qihao Weng and Thomas Koellner,2015.*

Resumen: La isla de calor urbano (UHI) es el fenómeno de aumento de las temperaturas en las zonas urbanas en comparación con su entorno rural. Los UHI crecen e intensifican bajo periodos de calor extremo, como durante las olas de calor, lo que puede afectar la salud humana y también aumentar la demanda de energía para el enfriamiento. Este estudio aplica los datos de teledetección y uso de la tierra / cobertura de la tierra (LULC) para evaluar el efecto de enfriamiento de la variación de la cubierta vegetal urbana, especialmente durante períodos de calor extremo, en la ciudad de Múnich, Alemania. Para calcular la relación entre la temperatura de la superficie terrestre (LST) y la cobertura de tierra de uso del suelo (LULC), se tomaron los datos de LIS de MODIS de ocho días para los meses de junio, julio y agosto de 2002 a 2012 y la base de datos Corine Land Cover (CLC) usado. Debido a las similitudes en el comportamiento de la temperatura superficial de diferentes CLCs, algunas clases fueron reclasificadas y combinadas para formar dos clases principales, bastante simplificadas, homogeneizadas: una de área construida y otra de vegetación urbana. El mapa homogeneizado se combinó con los datos LST de ocho días de MODIS para calcular la relación entre ellos. Los resultados revelaron que (i) el efecto de enfriamiento producido por la vegetación urbana tendía a ser no lineal; Y ii) se detectó un efecto de enfriamiento notable y más fuerte en términos de LST en regiones donde la proporción de cobertura vegetal estaba entre setenta y casi el ochenta por ciento por kilómetro cuadrado. Los resultados también demostraron que el LST dentro de la vegetación urbana se vio afectada por la temperatura de las zonas urbanas circundantes y que durante la conocida ola de calor europea de 2003, las zonas de los suburbios estaban más frías que el núcleo de la región urbanizada. Este estudio concluyó que el espacio verde óptimo para obtener la temperatura más baja es una tendencia no lineal. Esto podría

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

apoyar las estrategias de planificación urbana para facilitar las aplicaciones apropiadas para mitigar el estrés por calor en el área urbana.

Urban heat natural and anthropogenic factors influencing urban air temperatures.

Natalie E. Theeuwes ,2015.

Resumen. Este artículo investiga el impacto del calor antropogénico en la formación de islas de calor urbano (UHI) y también determina qué factores pueden afectar directamente el uso de energía en la ciudad. Explora literalmente el marco conceptual de la conflictividad entre el calor antropogénico y la estructura urbana, que produjo la intensidad de la UHI y afectó el equilibrio del consumo de energía. A continuación, se analiza cómo estos dos factores pueden verse afectados y dar implicación a la ciudad y luego se centra en si las acciones deben tomarse para equilibrar la adaptación y la mitigación de los efectos de la UHI. Se concluirá con tres estrategias importantes para minimizar el impacto de la UHI en el consumo de energía: el paisajismo, utilizando materiales de albedo en superficies externas de edificios y áreas urbanas, y promoviendo la ventilación natural

Climatología urbana por modificación antropogénica. alteración del balance de energía natural.

Carlos Alberto Fuentes Pérez ,2015.

Resumen: La investigación valora el análisis climático histórico para establecer la temperatura y humedad relativa media, en contraste con la climatología urbana por modificación antropogénica estudio de caso, y su contribución de consigna fijado para invierno y verano que son las estaciones críticas. El procedimiento metodológico a implementar, apoya a los planificadores urbanos a no tener que participar científicamente para evaluar el emplazamiento térmico de sus proyectos y por lo tanto se puede acelerar el proceso de diseño sin comprometer el énfasis en el contexto urbano sustentable. Con base a los resultados se establecen las islas de calor urbano y su huella térmica en el hábitat. El objetivo de la presente investigación es determinar la climatología urbana por modificación antropogénica y su alteración a la calidad del hábitat en Tampico, México.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Assessing heat health risk for sustainability in Beijing's urban heat island.

Weihua Dong ,*, Zhao Liu , Lijie Zhang , Qiuhong Tang , Hua Liao and Xian'en Li 2014.

Esta investigación está motivada por la creciente amenaza de las olas de calor urbano que probablemente empeoran por el calentamiento global y la urbanización. Diferentes regiones de la ciudad, incluyendo zonas urbanas, fronterizas y rurales experimentarán diferentes niveles de riesgo de salud por calor. En este artículo se propone un enfoque mejorado para evaluar cuantitativamente el riesgo sanitario por calor de Beijing, basado en tres factores, desde el riesgo, la vulnerabilidad y especialmente el medio ambiente, que es considerado como un factor independiente debido a que los diferentes tipos de cobertura Efecto de isla de calor urbano. Los resultados muestran que el riesgo sanitario por calor de Beijing demuestra un patrón espacio-temporal con mayor riesgo en el área urbana, menor riesgo en el área fronteriza entre el área urbana y rural y menor riesgo en el área rural y el riesgo total fluctuó dramáticamente durante 2008-2011. Para ser más específico, el riesgo de salud por calor fue claramente mayor en 2009 y 2010 que en 2008 y 2011. El análisis posterior con el área urbana a nivel de subdistrito significa que la superficie impermeable (área urbana como edificios, caminos, etc.)) Es de alta correlación con el riesgo de salud por calor. Los resultados de la validación muestran que el método propuesto mejoró la precisión de la evaluación del riesgo de calentamiento de la salud. Recomendamos que los responsables de la formulación de políticas desarrollen una planificación urbana eficiente para lograr el desarrollo sostenible de Beijing.

Estrategias para la reducción del efecto de isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicativo Madrid,

Irina Tumini ponencia sb10mad Sustainable building conference. 2012.

Uno de los efectos más conocidos debido a la urbanización es el aumento de calor local. La modificación de las condiciones microclimaticas, sobre todo en las condiciones de verano y en aquellos lugares caracterizados por su elevada temperatura, provoca problemas de confort tanto en los espacios exteriores como en los interiores, aumentando la demanda energética de refrigeración. Si se suma el aumento de la temperatura local

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

al incremento previsible por el cambio climático, en las ciudades se podrían crear condiciones de riesgo para la salud de sus habitantes, además de los problemas relacionados con el consumo y suministro energético. En este trabajo de investigación se han estudiado las relaciones entre el diseño de los espacios urbanos y el efecto de isla de calor, aplicado al caso de Madrid. El objetivo principal es establecer la efectividad de las principales medidas correctivas que se pueden poner en práctica en un entorno urbano para reducir el efecto de isla de calor. Para el desarrollo de este trabajo se han seleccionado tres estaciones de medición situadas en Madrid, que registran un diferente comportamiento climático local. De los casos de estudio se ha realizado un análisis de las temperaturas diarias registradas a lo largo del año, determinando para cada caso en qué medida la isla de calor afecta al microclima urbano. Para la determinación de los parámetros climáticos se han empleado valores obtenidos con un proceso de simulación computarizada, basados en los principios de fluidodinámica, termodinámica y del intercambio radioactivo en el espacio construido. A través de uso de programas de simulación podemos hacer una previsión de las condiciones microclimáticas de las situaciones actuales y de los efectos de la aplicación de medidas. La gran ventaja en el uso de sistemas de cálculo es que se pueden evaluar diferentes escenarios de proyecto y elegir entre ellos el que asegura mejores prestaciones ambientales. Los resultados obtenidos en los diferentes escenarios han sido comparados con los valores de confort del estado actual, utilizando como indicador de la sensación térmica el índice UTCI. El análisis comparativo ha permitido la realización de una tabla de resumen donde se muestra la evaluación de las diferentes soluciones de rehabilitación. Se ha podido así demostrar que no existe una solución constructiva eficaz para todas las aplicaciones, sino que cada situación debe ser estudiada individualmente, aplicando caso por caso las medidas más oportunas. Se plantea entonces cómo principal objetivo de la investigación, la definición de estrategias para el diseño bioclimático de los entornos urbanos construidos, fundamentados en las componentes morfotipológica, climática y de los requerimientos de confort para los ciudadanos. La metodología empleada para la investigación se basa en la evaluación de las condiciones climáticas y de confort térmico de diferentes escenarios de proyecto, aplicados a tres casos de estudio situados en un barrio periurbano de la ciudad de Madrid. Para la determinación de los parámetros climáticos se han empleado valores obtenidos con un proceso de simulación

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

computarizada, basados en los principios de fluidodinámica, termodinámica y del intercambio radioactivo en el espacio construido.

Healthy Environment: The Need to Mitigate Urban Heat Island Effects on Human Health

P. Shahmohamadia, A.I. Che-Ania*, I. Etessamb, K.N.A. Mauludc, N.M. Tawila 2011.

El cambio climático presenta desafíos significativos en los esfuerzos por mantener y mejorar la salud y el de personas que viven alrededor del mundo. Muchos de los peligros ambientales ejercen un efecto directo o indirecto sobre la salud y la Bienestar de los habitantes urbanos. Uno de los riesgos más importantes que repercuten en la salud y la calidad de vida es Isla del calor "La isla de calor urbano puede afectar directamente a la salud fisiologíca por las altas temperaturas"

Las islas de calor urbano tendrán amplios impactos en la sociedad y en la infraestructura. Podría afectar no sólo la salud agrícola y humana, sino también los patrones de asentamiento humano, uso de energía, transporte, industria, calidad ambiental y otros aspectos de la infraestructura que afectan nuestra calidad de vida.

Por lo tanto, este trabajo investiga qué factores son causados UHI formación, especialmente en Teherán metropolitano, y Luego reconociendo algunos factores que tienen más efectos sobre la salud, sugiere algunas soluciones del diseño urbano para tener ambiente sano.

Los Servicios Ambientales de la Arborización Urbana: Retos y Aportes para la Sustentabilidad de la Ciudad de Toluca

Isabel Reyes Avilés, Juan José Gutiérrez Chaparro ,2010.

Bajo el supuesto de que en la ciudad de Toluca el cuidado, manejo y disposición de las especies arbóreas condicionan los servicios ambientales que en el contexto urbano podríamos aprovechar, este trabajo tiene como objetivo establecer orientaciones que permitan establecer el uso apropiado de los árboles en ambientes urbanos. Se trata de destacar la importancia no sólo de su función como elementos propios del paisaje urbano

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

sino además, trascender hacia las funciones de los árboles como un servicio ambiental. Entre otras ventajas destacan el almacenamiento de agua; la recarga de las aguas subterráneas; el servir como barrera contra ruidos; regulación de la temperatura; elemento para la biodiversidad; generación de oxigeno; captura de carbono y; como elemento de confort en áreas para la recreación.

El Microclima Urbano en los Espacios Abiertos. Estudio de casos en Madrid

Irina Tumini **Tesis doctoral, *2012*.**

Estudia como la sensación térmica condiciona la percepción de un ambiente, así que el microclima puede ser determinante para el éxito o fracaso del espacio urbano, se plantea estrategias para el diseño bioclimático de los entornos urbanos construidos

Green Space, Urbanity, and Health: How strong is the relation.

Jolanda Maas, Robert A Verheij, Peter P Groenewegen, Sjerp de Vries, Peter Spreeuwenberg,2006.

Objetivos del estudio: Investigar la fuerza de la relación entre la cantidad de espacio verde en el ambiente de vida de las personas y su salud general percibida. Esta relación se analiza para diferentes grupos etarios y socioeconómicos. Además, se analiza por separado para las zonas urbanas y más rurales, porque se esperaba que la fortaleza de la relación variara con la urbanidad.

Diseño: El estudio incluye 250 782 personas inscritas en 104 prácticas generales que rellenaron una forma autoadministrada sobre antecedentes sociodemográficos y percepción de salud general. Se calculó el porcentaje de espacio verde (espacio verde urbano, espacio agrícola, espacio verde natural) dentro de un radio de un kilómetro y tres kilómetros alrededor de las coordenadas del código postal para cada hogar.

Métodos: Se realizaron análisis de regresión logística multinivel a tres niveles, es decir, nivel individual, nivel familiar y control de nivel de práctica para características sociodemográficas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Resultados principales: El porcentaje de espacio verde dentro de un radio de un kilómetro y un radio de tres kilómetros tenía una relación significativa con la salud general percibida. La relación estaba generalmente presente en todos los grados de urbanidad. La relación general es algo más fuerte para los grupos socioeconómicos más bajos. Los ancianos, los jóvenes y las personas con educación secundaria en las grandes ciudades parecen beneficiarse más de la presencia de áreas verdes en su entorno de vida que otros grupos en las grandes ciudades.

Conclusiones: Esta investigación muestra que el porcentaje de espacios verdes en el entorno de vida de las personas tiene una asociación positiva con la percepción de la salud general de los residentes. El espacio verde parece ser algo más que un lujo y, por consiguiente, el desarrollo del espacio verde debe ocupar una posición más central en la política de ordenación territorial.

3. Objetivos

Determinar la intensidad efecto Isla de Calor en la Ciudad de Arequipa.

Categorizar las especies arbóreas urbanas en el Centro Histórico de Arequipa.

Determinar el impacto de la arborización urbana sobre la intensidad de la isla de calor en el confort térmico en el Centro Histórico de Arequipa.

4. Hipótesis

Dado que en las ciudades se presenta un aumento considerable de temperatura es probable que la apropiada elección de arborización urbana podría contribuir con la disminución del fenómeno denominado Isla de Calor, generando un cambio en las condiciones microclimáticas e influyendo directamente en el bienestar térmico de la población.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPITULO II

MATERIALES Y METODOS

1. INTENSIDAD DEL EFECTO ISLA DE CALOR

Para la determinación de la **intensidad del efecto Isla de Calor** se ha tomado como área de estudio la ciudad de Arequipa, que se encuentra a una altura de 2335 m.s.n.m, con una extensión aproximada de 9,689.06 km2 representando el 16.5% del área e total de la Región Arequipa, su población es de 969,284 habitantes siendo la provincia que concentra la mayor cantidad de población en la Región Arequipa.

Se analiza el comportamiento ambiental de la ciudad de Arequipa y se determina la intensidad de isla de calor. Para esto se determinaron tres ubicaciones en zonas periurbanas y una ubicación en el Centro Histórico. Las distancias de los sectores periurbanos fueron equidistantes a la Plaza de Armas con una distancia aprox. De 5,300 m formando una triangulación. De forma comparativa se midió la temperatura en los cuatro sectores para determinar el promedio, las máximas o mínimas. Esta información nos servirá posteriormente para determinar el índice de la intensidad de isla de calor pudiendo variar de forma positiva o negativa.

Esta parte de la investigación se desarrolló en el mes de Junio específicamente en el solsticio de inverno.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

TABLA 1. UBICACION DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO INMEDIATO.

SENSOR	DISTRITO	COORDENADAS	CARACTERISTICAS
Sensor 1	*José Luis Bustamante y R.*	16°26´24.77¨S 71°30´19.38¨O	Urbanización media con gran presencia de áreas verdes a su alrededor.
Sensor 2	Cerro Colorado	16°22´7.30¨S 71°34´32.78¨O	Urbanización Baja con gran presencia de áreas verdes a su alrededor.
Sensor 3	Sachaca	16°22´7.30¨S 71°34´32.78¨O	Urbanización media con presencia de áreas verdes a su alrededor.
Sensor 4	Centro Histórico	16°22´7.30¨S 71°34´32.78¨O	Altamente urbanizado escasa presencia de áreas verdes

Fuente: Elaboración propia

.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

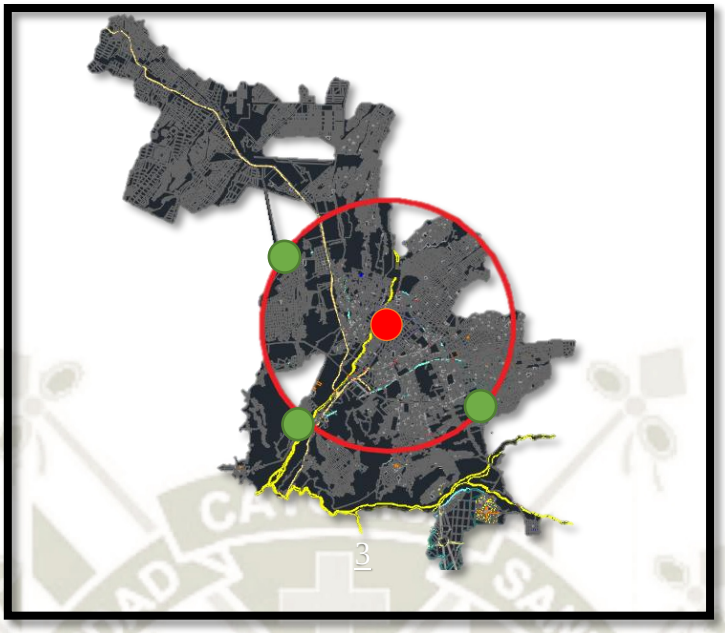


Figura Nº **3: El Plano de la ciudad de Arequipa.** Los puntos 1, 2, 3 indican los lugares periurbanos y el 4 urbano donde se colocaron los data loggers, el círculo rojo tiene un radio de 5.3 Km con relación al Centro Histórico.

Para esta etapa de la investigación de recabó información de temperatura de 4 diferentes puntos de la ciudad, 3 de ellos periurbanos y uno urbano.

La distancia de los sectores periurbanos fueron

equidistantes a la Plaza de Armas a una distancia aprox. De 5,300 m formando una triangulación.

Se utilizaron equipos portables tipo DATA LOGGER Tipo PCE-HT 71N con las siguientes características:

Rango	0 … 100 % H.r. -40 … +70 °C	
precisión	±3 % ±1 °C	H.r.
Resolución	0,1 % 0,1 °C	H.r.



Figura Nº 4 Modelo Data logger

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Los instrumentos se ubicaron a dos metros sobre el nivel del suelo, bajo la sombra de un árbol frondoso, en el entorno inmediato la inexistencia de barreras físicas como edificaciones altas (más de dos pisos), cerros en una radio de 500 m aprox.

Tiempo de medición fueron 4 días del mes de junio, con intervalo de dos horas.

Los instrumentos fueron protegidos de la lluvia y radiación solar directa mediante una caja de Tecnopor.

Posteriormente se comparó la temperatura de las diferentes ubicaciones y se determinó el promedio de la temperatura media, mínima y máxima.

Finalmente se determinó la intensidad de Isla de Calor con la siguiente fórmula: (Oke, 1987)

$$ICU = T_{.urbana} - T_{.rural}$$

Donde:

ICU= intensidad de isla de calor

T.urbana= temperatura urbana

T.rural =temperatura rural.

Un valor positivo indica la existencia de isla de calor, si la intensidad es negativa significara que hay un efecto de enfriamiento (urban cool island) (Wang,2015).

2. CATEGORIZACION DE LAS ESPECIES ARBÓREAS

La categorización se ha realizado de forma directa por medio de un censo de toda la población de árboles urbanos el área denominada Zona Monumental y la zona de transición o tampón delimitada en la fig. 1 con una superficie total de 437.17 Ha.

Esta información nos sirve para poder conocer la cantidad de árboles por persona con los que cuenta el área denomina centro histórico, también su densidad absoluta y si cumplimos o no con los estándares internacionales.

Esta parte de la investigación se realizó en los meses de junio y julio.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

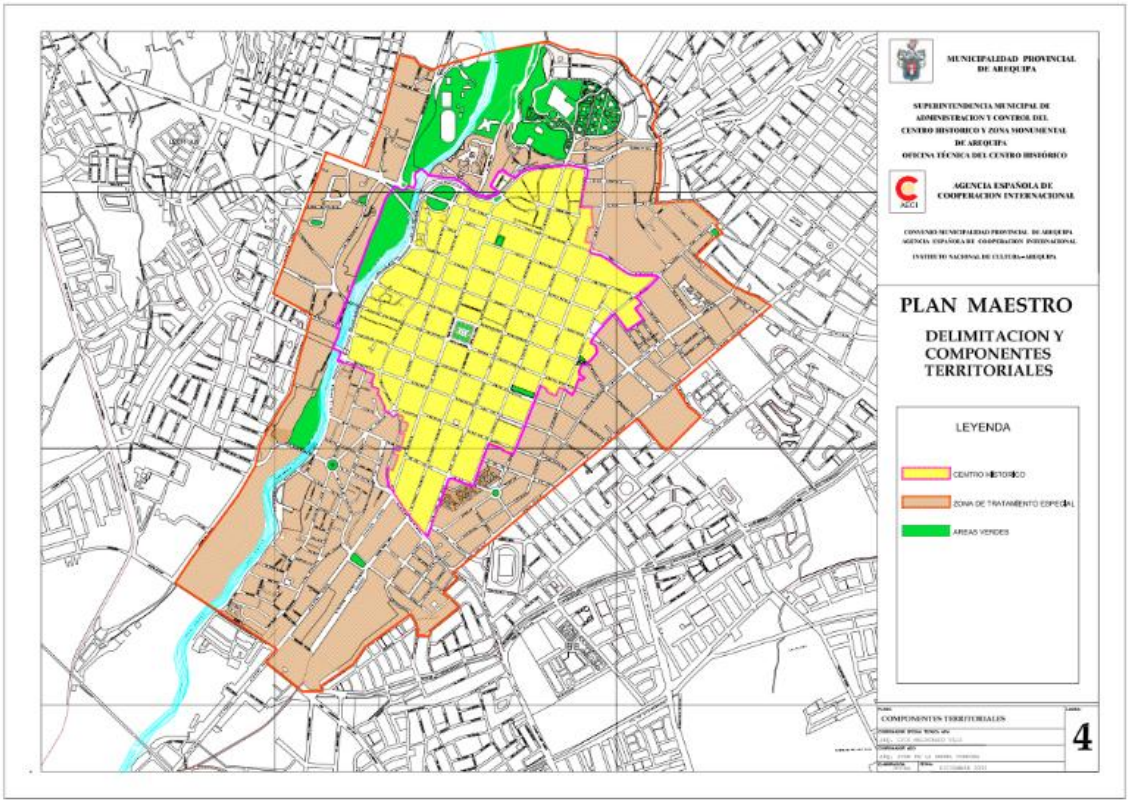


Figura Nº **5. Plano de Delimitación del Centro Histórico**.

Fuente: Plan Maestro del Centro Histórico de Arequipa Volumen 1 Diagnostico.

Por medio de Google earth se realizó una identificación previa, subdividiendo el área en 3 zonas con características propias.

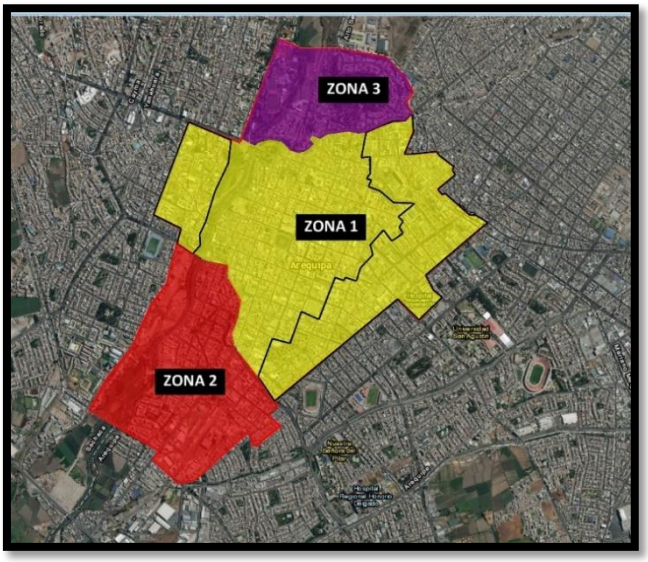
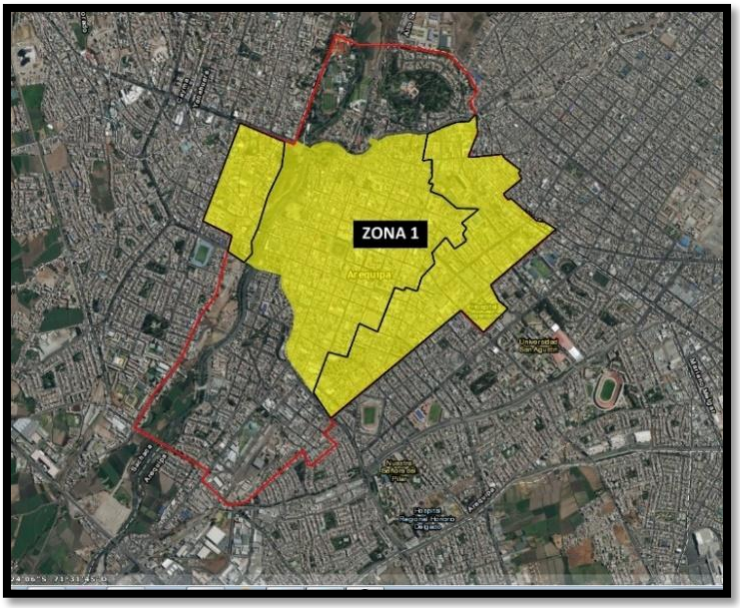


Figura Nº 6. Plano de zonificación Zona 1 sombreado amarillo: área central, zona 2 sombreado rojo: área de Vallecito, zona 3 sombreado lila: área de Selva Alegre.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Zona 1: Incluye la zona monumental y la expansión nor-oeste y al sur- este en áreas denominadas tampón o de transición con un área de 258.10 Ha. La morfología urbana es reticular, el uso es mixto comercio, gestión y

Figura Nº 7: Plano de delimitación del Centro Histórico contorno rojo, zona sombreado amarillo vivienda y existe un aparente déficit de árboles.



Zona 2: Incluye la zona de Vallecito, con área de 116.9 Ha. La morfología es radial, el uso residencial y la presencia significativa de arborización.

Figura Nº 8: Plano de delimitación del Centro Histórico contorno rojo, zona 2 sombreado de rojo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA



Zona 3: Incluye la zona de Selva Alegre con un área aproximada de 62.17 Ha. La morfología es radiocentrica y de uso residencial y de servicios con presencia significativa de arborización.

Figura Nº 9: Plano de delimitación del Centro Histórico contorno rojo, zona 3 sombreado de morado.

Posteriormente se realizará el levantamiento de información mediante una ficha, identificando la calle y la especie. Estos datos se procesaron en gabinete de forma gráfica y estadística para poder determinar las especies arbóreas existentes la cantidad y también la ubicación de éstas en las distintas calles de la ciudad.

La densidad absoluta se calculó con las siguiente formula (Brower et al, 1997)

$$\text{Densidad absoluta} = \frac{\text{Número de individuos de una especie}}{\text{Área muestreada}}$$

Para poder determinar si la cantidad de árboles es la recomendada por la OMS Ratio de 0.3 se dividió el número de habitantes entre el número de árboles por sector

3. CONFORT TÉRMICO

La tercera parte de la investigación se realizó también en el área denominada Centro Histórico, después de haber identificado las especies más abundantes por cada una de las zonas se realizó la toma de temperatura y humedad bajo la sombra de las tres especies

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

más significativas y paralelamente se realizó la toma de temperatura y humedad en lugares alejados a una distancia aproximada de 6 m con relación al árbol.

Esta parte de la investigación se realizó en el mes de octubre.



Figura Nº 10: Esquema de ubicación de sensores bajo sol

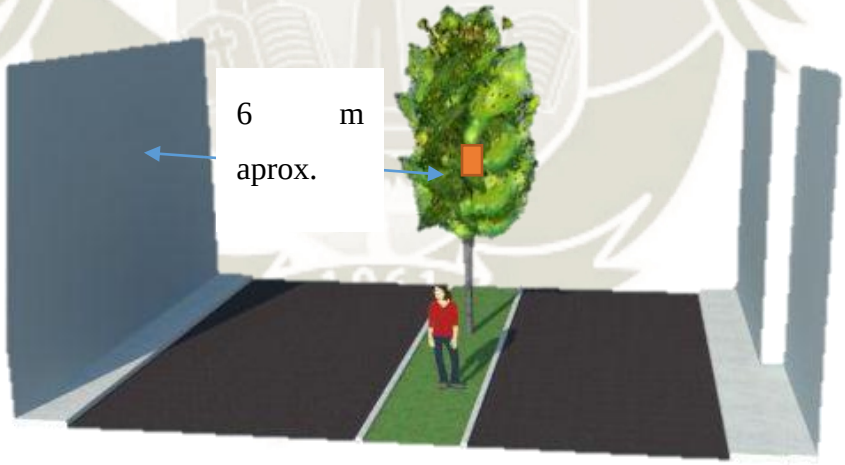


Figura Nº 11: Esquema de ubicación de sensores bajo sombra

Los instrumentos utilizados fueron Data Loggers tipo HT-160 programados para que realicen las mediciones cada dos horas por el transcurso de tres días, a una altura de dos metros en ambos casos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Posteriormente se realizará el levantamiento de información identificando las diferencias de temperatura y humedad que existen entre ambas locaciones de tal forma que a través de la formula Índices empíricos o sistémicos "Efective temperatura confort" propuesto por Missenard en 1937, se pudo comparar el índice de sensación térmica de las tres especies.

$$ET = T - 0.4\ (T-10)*(1 - HR/100)$$

Donde:

ET= temperatura efectiva

T= es la temperatura ambiente en ºC

HR=la humedad relativa (en %).

1. **Temporal**

Se trata de una investigación que se desarrollara con la metodología propuesta en el periodo comprendido desde junio a septiembre del 2017, periodo en el cual se ejecutaron las actividades de investigación.

2. **Materiales de campo (colección)**

- Libreta de apuntes
- Cinta métrica
- Cámara fotográfica
- Medidor laser.
- GPS

3. **Equipos e instrumentos**

- Videocámara

- Data Logger tipo HT-160.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO Nº 2

MATRICES DE SISTEMATIZACION

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

TABLA N° 2: TEMPERATURA AMBIENTAL BAJO LA SOMBRA DE UN ARBOL EN EL DISTRITO DE CERRO COLORADO

TIEMPO	día 1	día 2	dia3	día 4	promedio
01:00:00 a.m.	8.5	9.0	8.5	8.5	8.63
03:00:00 a.m.	9.6	9.8	9.3	8.2	9.23
05:00:00 a.m.	10.4	11.6	9.8	6.4	9.55
07:00:00 a.m.	12.1	12.3	10.8	6.9	10.53
09:00:00 a.m.	23.2	19.0	18.8	16.5	19.38
11:00:00 a.m.	20.3	21.4	21.8	19.3	20.70
13:00:00 p.m.	20.1	21.8	21.1	20.2	20.80
15:00:00 p.m.	19.0	18.7	18.9	19.0	18.90
17:00:00 p.m.	15.8	15.5	16.1	16.2	15.90
19:00:00 p.m.	11.3	11.1	11.9	11.4	11.43
20:00:00 p.m.	10.2	10.2	10.4	10.5	10.33
22:00:00 p.m.	8.6	9.4	8.9	8.6	8.88

Promedio= 13.69 Mínimo=8.63 Máximo=20.80

Fuente: elaborado por la autora, ucsm-2017.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

TABLA N°3: TEMPERATURA AMBIENTAL BAJO LA SOMBRA DE UN ARBOL EN EL DISTRITO DE SACHACA

	día 1	día 2	dia3	día 4	promedio
01:00:00 a.m.	10.3	9.6	10.2	9.9	10.0
03:00:00 a.m.	9.5	8.2	8.2	9.4	8.8
05:00:00 a.m.	8.2	8.2	7.9	8.4	8.2
07:00:00 a.m.	7.7	7.8	7.5	8.8	8.0
09:00:00 a.m.	15.6	15.2	14.9	15.7	15.4
11:00:00 a.m.	22.9	22.3	21.4	22.4	22.3
13:00:00 p.m.	32.2	32.1	30.2	30.0	31.1
15:00:00 p.m.	24.5	24.4	23.6	24.3	24.2
17:00:00 p.m.	20.7	21.6	20.0	22.8	21.3
19:00:00 p.m.	15.0	16.3	15.7	17.3	16.1
20:00:00 p.m.	12.1	13.1	12.9	14.1	13.1
22:00:00 p.m.	10.5	11.4	11.1	13.1	11.5

Promedio= 15.8 Mínimo=8.0 Máximo=31.1

Fuente: elaborado por la autora, ucsm-2017.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

TABLA N°4: TEMPERATURA AMBIENTAL BAJO LA SOMBRA DE UN ARBOL EN EL CENTRO HISTORICO.

TIEMPO	día 1	día 2	dia3	día 4	promedio
01:00:00 a.m.	12.0	10.4	11.2	11.1	11.2
03:00:00 a.m.	10.8	9.7	10.0	10.3	10.2
05:00:00 a.m.	9.7	9.7	9.0	9.7	9.5
07:00:00 a.m.	9.6	9.8	9.1	9.3	9.5
09:00:00 a.m.	17.2	14.3	15.4	16.6	15.9
11:00:00 a.m.	18.6	19.3	19.5	21.1	19.6
13:00:00 p.m.	19.7	21.8	20.5	21.1	20.8
15:00:00 p.m.	20.9	23.0	21.5	22.5	22.0
17:00:00 p.m.	20.1	20.7	19.8	21.9	20.6
19:00:00 p.m.	16.0	17.2	16.2	17.7	16.8
20:00:00 p.m.	13.2	14.2	13.4	14.7	13.9
22:00:00 p.m.	11.3	12.4	12.6	13.2	12.4

Promedio= 15.2 Mínimo=9.5 Máximo=22.0

Fuente: elaborado por la autora, ucsm-2017.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

TABLA N° 5: HUMEDAD AMBIENTAL BAJO LA SOMBRA DE UN ARBOL EN CERRO COLORADO.

TIEMPO	día 1	día 2	dia3	día 4	promedio
01:00:00 a.m.	58.3	31.2	29.3	37.5	39.1
03:00:00 a.m.	43.1	27.3	29.3	32.0	32.9
05:00:00 a.m.	34.4	25.6	25.7	37.8	30.9
07:00:00 a.m.	29.4	25.4	25.5	34.0	28.6
09:00:00 a.m.	31.3	22.5	24.6	26.8	26.3
11:00:00 a.m.	19.6	19.8	19.6	23.2	20.6
13:00:00 p.m.	20.5	20.7	21.1	32.6	23.7
15:00:00 p.m.	24.2	27.4	29.3	34.4	28.8
17:00:00 p.m.	32.4	35.0	34.4	45.2	36.8
19:00:00 p.m.	40.3	43.8	45.7	60.5	47.6
20:00:00 p.m.	36.9	36.4	42.2	55.6	42.8
22:00:00 p.m.	36.3	31.0	36.3	59.2	40.7

Promedio= 15.2 Mínimo=9.5 Máximo=22.0

Fuente: elaborado por la autora, ucsm-2017.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

TABLA N° 6: HUMEDAD AMBIENTAL BAJO LA SOMBRA DE UN ARBOL EN SACHACA.

TIEMPO	día 1	día 2	dia3	día 4	promedio
01:00:00 a.m.	46.7	55.6	54.3	56.7	53.3
03:00:00 a.m.	43.8	57.2	56.1	56.4	53.4
05:00:00 a.m.	47.2	55.6	57.5	57.5	54.5
07:00:00 a.m.	51.6	52.6	60.3	52.7	54.3
09:00:00 a.m.	36.8	43.2	45.8	41.2	41.8
11:00:00 a.m.	22.2	28.8	34.2	25.9	27.8
13:00:00 p.m.	14.8	19.3	23.0	23.0	20.0
15:00:00 p.m.	24.4	27.7	29.5	27.1	27.2
17:00:00 p.m.	32.4	31.7	35.2	27.9	31.8
19:00:00 p.m.	49.5	43.4	50.7	37.0	45.2
20:00:00 p.m.	58.8	52.8	54.1	44.1	52.5
22:00:00 p.m.	55.1	53.4	55.9	40.5	51.2

Promedio= 15.2 Mínimo=9.5 Máximo=22.0

Fuente: elaborado por la autora, ucsm-2017.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

TABLA N° 7: HUMEDAD AMBIENTAL BAJO LA SOMBRA DE UN ARBOL EN JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO.

TIEMPO	día 1	día 2	dia3	día 4	promedio
01:00:00 a.m.	58.4	60.9	57	52.2	57.1
03:00:00 a.m.	56.7	61.3	59.2	49.3	56.6
05:00:00 a.m.	53.9	60.3	56	53.8	56.0
07:00:00 a.m.	57.5	61.2	48.1	58.6	56.4
09:00:00 a.m.	34.3	40.3	36.3	33.9	36.2
11:00:00 a.m.	30.1	33.1	27.6	26.4	29.3
13:00:00 p.m.	29	34.2	29.7	30.9	31.0
15:00:00 p.m.	33.1	36.3	33	32.3	33.7
17:00:00 p.m.	39.9	44	37.7	45.7	41.8
19:00:00 p.m.	46.5	62.3	53.8	65.8	57.1
20:00:00 p.m.	50.7	61.6	48.9	66.9	57.0
22:00:00 p.m.	60.2	61.6	37.5	61.3	55.2

Promedio= 15.2 Mínimo=9.5 Máximo=22.0

Fuente: elaborado por la autora, ucsm-2017.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

TABLA N° 8: HUMEDAD AMBIENTAL BAJO LA SOMBRA DE UN ARBOL EN EL CENTRO HISTORICO.

TIEMPO	día 1	día 2	dia3	día 4	promedio
01:00:00 a.m.	41.9	54.1	50.9	51.9	49.7
03:00:00 a.m.	42.2	55.3	52.2	54.3	51.0
05:00:00 a.m.	45.6	53.7	51.4	53.1	51.0
07:00:00 a.m.	47.6	51.9	51.3	53	51.0
09:00:00 a.m.	31.8	42.4	43.1	44.5	40.5
11:00:00 a.m.	24.5	30.9	36.2	30.7	30.6
13:00:00 p.m.	26.1	31.3	35.3	33.1	31.5
15:00:00 p.m.	30.7	30.8	33.7	29.9	31.3
17:00:00 p.m.	31.7	33.9	36.8	28.7	32.8
19:00:00 p.m.	43.2	40.7	46.9	35.7	41.6
20:00:00 p.m.	48	47.2	50.6	40.6	46.6
22:00:00 p.m.	51.3	49.7	51.2	41.5	48.4

Promedio= 15.2 Mínimo=9.5 Máximo=22.0

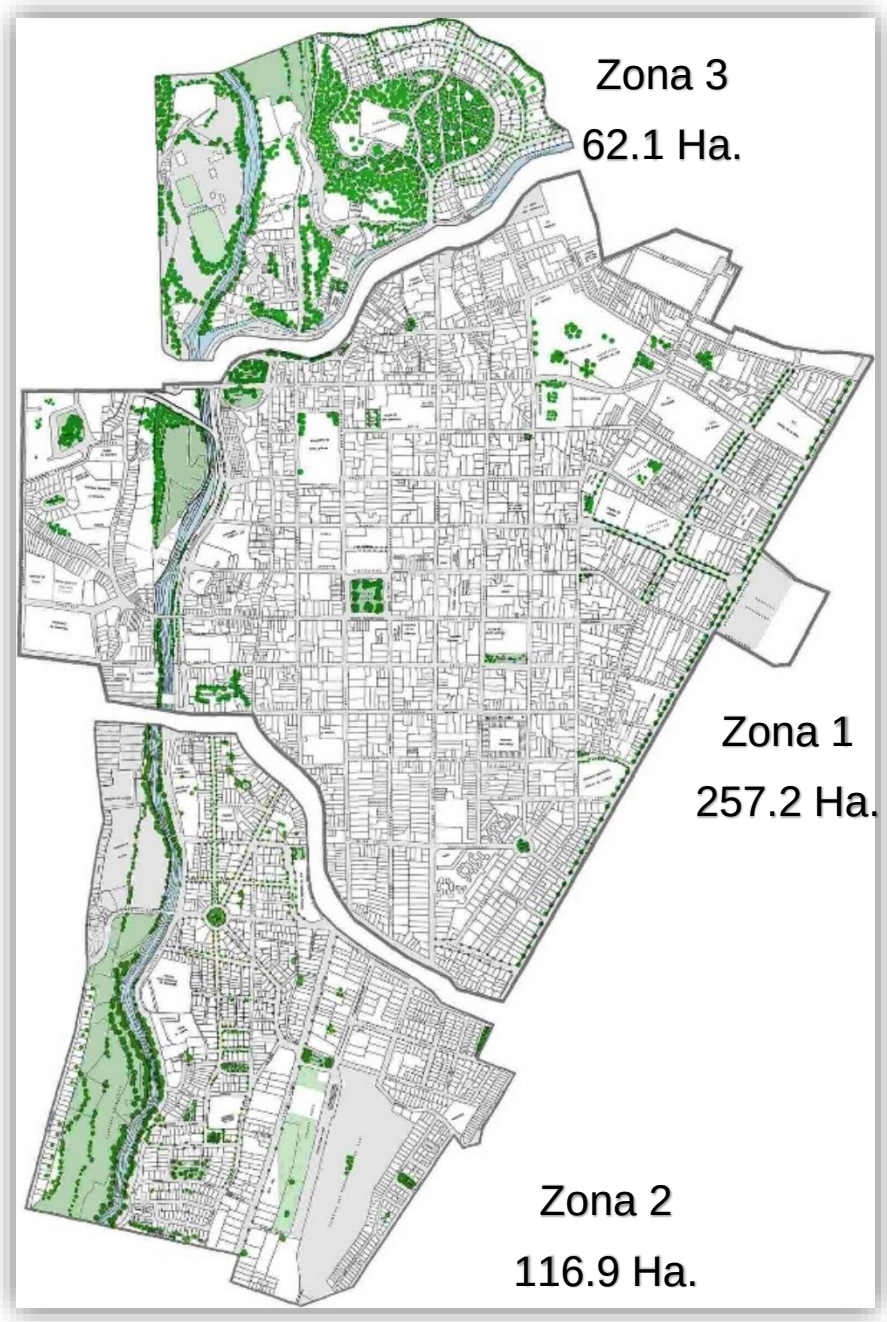
Fuente: elaborado por la autora, ucsm-2017.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ZONIFICACIÓN DEL ÁREA DENOMINADA CENTRO HISTÓRICO Y LA SUBDIVISIÓN EN LOS TRES SECTORES



Fuente: Elaboración Propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

TABLA N° 9: DISTRIBUCION DE LAS ESPECIES ARBOREAS EN ZONA 1 SEGÚN LAS CALLES

	GOYENECHE	SIGLO XX	CORBACHO	SANTA ROSA	PLAZOETA SAN CAMILO	PLAZOLETA DEAN VALDIVIA	PLAZOLETA SAN FRANCISCO	PLAZA ESPAÑA	PLAZOLETA ALTO DE LA LUNA	OVALO QUINTA ROMAÑA	AV OLIMPICA	PLAZOLETA MELGAR	PLAZOLETA MERCADERES	AV LA MARINA	BOLIVAR	CALLE ZELA	PASAJE CATREDRAL	CALLE INTERNA AV MARINA	PLAZA DE ARMAS	sub total
ALAMOS	4													4						8
ARAUCARIA																			1	1
CASUARINAS	1													1					6	8
CIPRES						2														2
FICUS																6		7	2	15
FRESNOS	9	7	8			1		1	1	4	16		8	36						91
GREVILEA												1							4	5
INTIMPA																			6	6
JACARANDA		3					11	5			1	4		10		6		3	12	55
MIOPORO		1													12					13
MOLLES	4		2											4						10
MORAS	28	78	48	34		3		7	7	4	14		7	26			6			262
OLIVOS																			6	6
PACAY																			4	4
PALMERA		1				5				1			1						19	27
PALTO						1													2	3
PINO RADIATA						1														1
PISONAY																			1	1
SAUCE														6						6
THUJA																			2	2
TIPA																			3	3
VILCO						1				3									2	6
Total	46	90	58	34	0	14	11	13	8	12	31	5	16	87	12	12	6	10	70	535

La zona 1 comprende un área de estudio de 257.2 Ha. con una densidad arbórea de 535 unidades y una razón de 2.08 árboles por hectárea. Según el inventario se encontró un total de 23 especies significativas en el espacio público.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Figura. 12. Zonificación del área de estudio zona 1

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

TABLA N° 10: DISTRIBUCION DE LAS ESPECIES ARBOREAS EN ZONA 2 SEGÚN LAS CALLES

	CALLE TACNA Y ARICA C1	PLAZOLETA	PASAJE OHIGGINS	28 DE JULIO C5	GARCIA CALDERON	AV SAN MARTIN C2	AV SAN MARIN C1	PASAJE PARIS	AV LIMA	AV PARRA	AV SALAVERRY	AV PAZ SOLDAN	PASAJE BELEN	PASAJE GOMEZ	PASAJE T. PACHECO-C321	CALLE RAIMONDI	PASAJE RODIN-V. PACHECO	ANDRES MARTINEZ	OVALO VALLECITO	sub total
ACACIA MIMOSA									1					1						2
ALAMOS	144																	1		145
CASUARINAS					3	1	12	5	1				15	2	11	8	9	17	7	91
FICUS					4					27		39						1		71
FRESNOS	6	16		11	20	26	42	6	10	3	1			14	7		3	10	6	181
JACARANDA					1											11	1			13
MEIJO																1				1
MIOPORO											2	1								3
MOLLE COSTEÑO																	3			3
MOLLE SERRANO									1					1		1	1	1		5
MORAS	8		9		3		2	4	3			3	2		6		1	23	11	75
PALMERA		3																		3
PINO				1																1
SAUCO	3			2														1	3	9
VILCO														4		1	4		1	10
	161	19	9	14	31	27	56	15	16	30	3	43	17	22	24	22	22	54	28	613

La zona 2 comprende un área de estudio de 116.9Ha. Con una densidad arbórea de 613 unidades y una razón de 5.24 árboles por hectárea. Según el inventario se encontró un total de 15 especies significativas en el espacio público, siendo las tres especies más abundantes el *Fraxinus americana* (fresno) con un 30 % y le sigue *Pópulos nigra* (alamo) con un 24 %.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

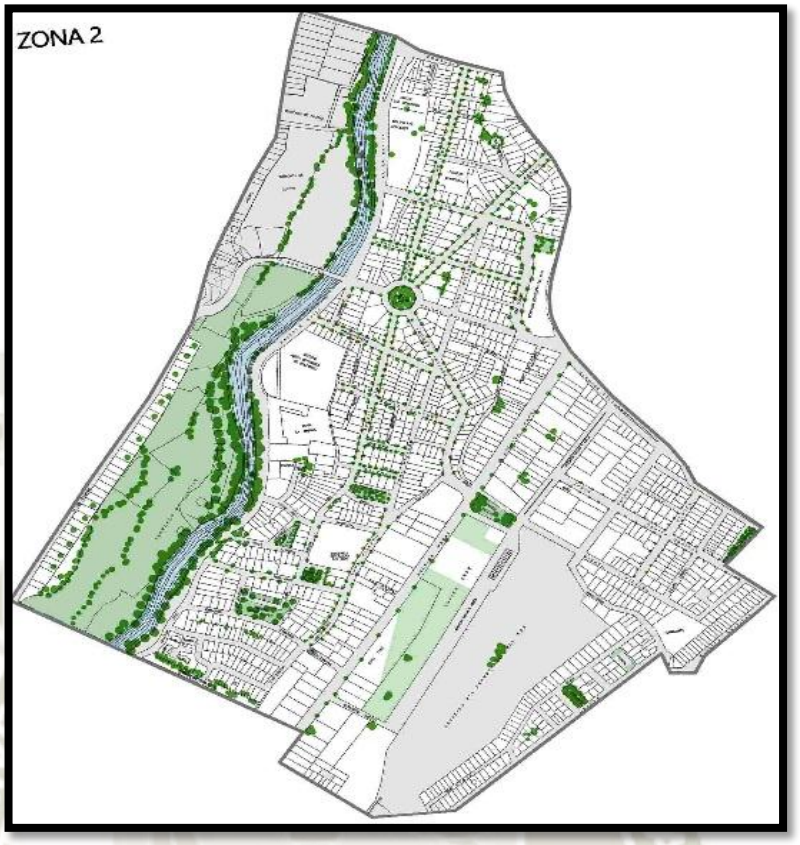


Figura. 13. Zonificación del área de estudio zona 2

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

TABLA N° 11: DISTRIBUCION DE LAS ESPECIES ARBOREAS EN ZONA 3 SEGÚN LAS CALLES

	MANUEL UGARTECHE	AV TORRENTERA	CALLE ARRAYANES	C.CLAVELINAS	LA GRUTA	PASAJE M. CASTILLO	M. BENAVIDES	LOS GERANIOS	PASAJE SELVA ALEGRE	PARQUE SELVA ALEGRE	AV JUAN DE LA TORRE	SUB TOTAL
ALAMO											49	49
CASUARINAS					6					785		791
CIPRES							1					1
EUCALIPTO									1	158		159
FICUS	2											2
FRESNOS	88	75		8	1	15	40	12	12	1840		2091
GREVILEA	2											2
JACARANDA	2											2
MOLLE SERRANO	1						19					20
MORAS	4	1	9		6	1	10		2			33
SAUCE									8			8
VILCO		1			11	1	4					17
	99	77	9	8	24	17	74	12	23	2783	49	3175

La zona 3 comprende un área de estudio de 62.17Ha. Con una densidad arbórea de 3175 unidades y una razón de 51.06 árboles por hectárea. Según el inventario se encontró un total de 12 especies significativas en el espacio público, siendo las tres especies más abundantes el *Fraxinus americana* (fresno) con un 66% la *Casuarina equisetifolia* (casuarina) con 25%, seguido por el eucalyptus globulus (eucalipto) con un 5 %.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

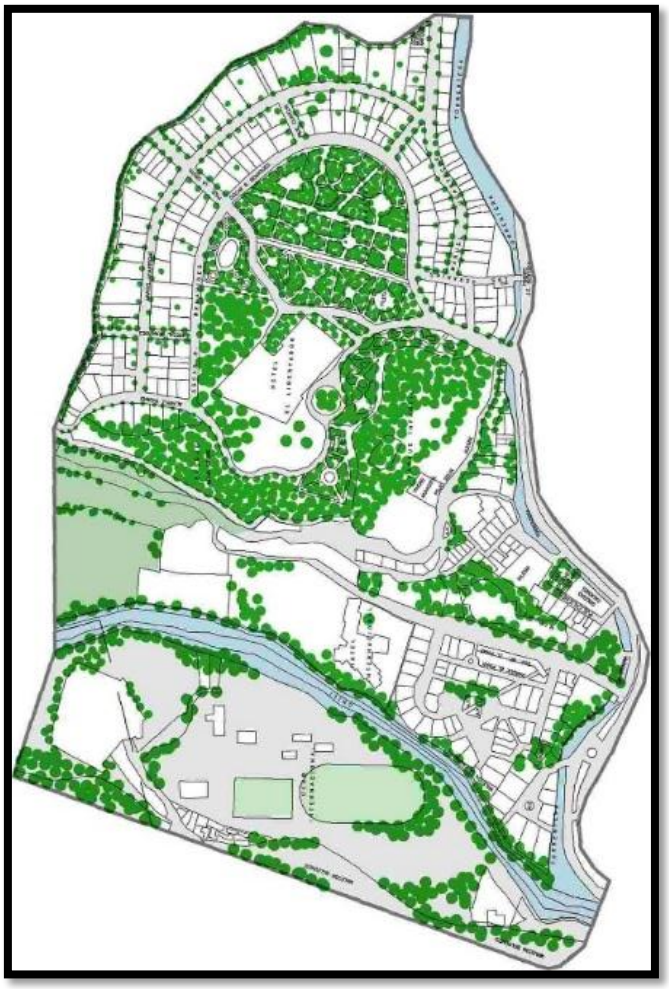


Figura. 14. Zonificación del área de estudio zona 3

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CRONOGRAMA DE TRABAJO

		2017											2018						
Actividades	**2016**	**enero**	**febrero**	**marzo**	**abril**	**mayo**	**junio**	**julio**	**agosto**	**septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**diciembre**	**enero**	**febrero**	**marzo**	**abril**	**mayo**	**junio**	**julio**
Aprobación del plan de investigacion																				
Recolección de datos																				
Procesamiento de datos																				
Diagnostico e interprestacion de resultados																				
Elaboración de informe final																				

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Referencia Bibliográfica.

Acero, J. Á., Moral, A. S., & Arrizabalaga, J. (2010). *Influencia de la vegetacion en la calidad del aire y el clima urbano*. Congreso Nacional Del Medio Ambiente, 13. Recuperado de www.conama10.es.

Anaya, José María Chávez. (2008). Verde Bandera. (2009). *De Periodismo Ambienta.* Recuperado de http://www.verdebandera.com/2008/04/existen-en-gdl-islas-pero-de- calor.html?widgetType=BlogArchive&widgetId=BlogArchive1&action=toggle&dir=close&toggle=YEARLY-1167638400000&toggleopen=DAILY-1177830000000.

Andreou E (2013) Thermal comfort in outdoor spaces and urban canyon microclimate. Renew Energy 55:182–188. doi:10.1016/j.renene. 2012.12.040.

ASHRAE *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*. (2017). Recuparado de https://www. ashrae.org/standards-research--technology/standards—guidelines.

Aylor DE (1972) Noise reduction by vegetation and ground. J. Acoust. Soc. Ame 51 (1): 197-205.

Bansal, N., K., Hauser, G., Minke, G.(1994*)"Passive Building Design, a Handbook of Natural Climatic Control"*. Elsevier Science B. V., Amsterdam.

Potchter, O. , Cohen, P. and Bitan, A. (2006), *Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the mediterranean city of Tel Aviv, Israel*. Int. J. Climatol., 26: 1695-1711. doi:10.1002/joc.1330

Cook, D.I y Van Haverbeke, D.F. (1971) *Trees and shrubs for noise abatement*. Res. Bull. 246. Nebr. Agri. Expt. Stat. Lincoln. 77 p.

Cook, D.I .(1978) *Trees, solid barriers, and combinations: Alternatives for noise control*. In: Hopkins G (ed) Proceedings of the National Urban Forestry Conference. pp. 330-339.

Correa E., Ruiz M., Cantón A. (2010). *Morfología forestal y confort térmico en "ciudades oa- sis" de zonas áridas*. Ambiente Construído, Porto Alegre, Vol. 10, Nº 4, pp. 119-

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

137, out./dez. ISSN 1678-8621 © 2005, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

Corzo, G. T. (2007*). Manejo del arbolado urbano en Bogotá*. *Revista Territorios*, pp. 149–174.

Emmanuel R, Johansson E (2006*) Influence of urban morphology and sea breeze on hot humid microclimate : the case of Colombo, Sri Lanka*. Clim Res vol 30:pp. 189–200

E. Johansson. (2006).*Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: a study in Fez, Morocco Build*. Environ., 41 (10) pp. 1326-1338, 10.1016/j.buildenv.2005.05.022.

EPA 2016. U.S. *Environmental Protection Agency. (https://www.epa.gov/heat-islands/using-green-roofs- reduce-heatislands*#1), Visited September 9.

Davies, M.; Steadman, P.y Oreszczyn, (2008). *Strategies for the Modification of the Urban Climate and the Consequent Impact on Building Energy use*. Energy Policy, 2, vol. 36, no. 12, pp. 4548-4551.

Fernández García, F., (2009). *Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid.* Departamento de Geografía Universidad Autónoma de Madrid. Investigaciones Geográficas (Esp), núm. 49, 2009, pp. 173-180.

Garland, L.(2011). Heat islands. London: Earthscan.

Giridharan, R., et al.(2007) *Urban Design Factors Influencing Heat Island Intensity in High-Rise High-Density Environments of Hong Kong*. Building and Environment, 10, vol. 42, no. 10, pp. 3669-3684. ISSN 0360-1323.

Grimmond, C.S.B., and T.R. Oke. (1999). *Heat storage in urban areas: Local- scale observations and evaluation of a simple model*. J. Appl. Meteorol. 38:922–940.doi:10.1175/1520-0450(1999)038<0922:HSIUAL>2.0.CO;2.

Gómez, F.; Gil, L.and Jabaloyes, J.(2004). *Experimental Investigation on the Thermal Comfort in the City: Relationship with the Green Areas*, Interaction with the Urban Microclimate. Building and Environment, vol. 39, no. 9, pp. 1077-1086.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Gutiérrez Chaparro, Juan José; Reyes Avilés, Isabel; (2010*). Los Servicios Ambientales De La Arborización Urbana: Retos Y Aportes Para La Sustentabilidad De La Ciudad De Toluca*. Quivera, Enero-Junio, 96-102.

IZA *(Índice de Confort Térmico para ciudades de zonas áridas*(2015)*)*: desarrollado por Ruiz y Correa para Mendoza, Argentina.

Johansson E, Emmanuel R (2006) *The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo*, Sri Lanka. Int J Biometeorol 51:119–133. doi:10.1007/s00484-006- 0047-6.

Kim, Y.H., Baik, J.J., (2005). *Spatial and temporal structure of the urban heat island in Seoul.* Journal of Applied Meteorology 44, 591–605.

Kuhns, M. (2007). *Landscape Trees And Global Warming. Utah State University*. Recuperado de http://Www.Landmarkwest.Org/Green/ Landscapetrees.Pdf.

Krishnamurthy L. y J. Rente Nascimento, (1997). *Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe*. 39 - 81 pp.

Krüger E, Minella F, Rasia F (2011) *Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil*. Build Environ 46:621–634. doi:10.1016/j.buildenv.2010.09. 006.

Larcher, W. (1980*). Physiological Plant Ecology*. New York: Springer-Verlag.

Leuzinger, S., Vogt, R., Körner, Ch. (2010): *Tree surface temperature in an urban environment. Agricultural and Forest Meteorology*, 150:56-62.

Lima, A.M.L.P. et al.(1994). *Problemas de utilização na Conceituação de termos como espaços livres, áreas verdes e correlatos*. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 2., 1994, São Luiz. Anais… São Luiz: Imprensa EMATER/MA, p. 539-550.

Morgan, D.L. y Baskett,R.L. (1974): *Confort of man in the city. Anenergy bance model of man-environment coupling*. International Jounal of Biometereology, 18(3),pp.184-198.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Lin TP, Tsai K, Hwang R, Matzarakis A (2012) *Quantification of the effect of thermal indices and sky view factor on park attendance*. Landsc Urban Plan 107:137–146. doi:10.1016/j.landurbplan.2012. 05.011.

Lopera, F. G., y Ambiental, C. Y. C. (2007). *ESTADO DE LA CUESTIÓN* Y, 147–182.

Mattson,W.J.y Haack, R.A.(1987) *The rol of drought in outbreaks of plant-aeting insects*. Bol. Sci., 37(2):110-118.

McPherson, E. G. & Simpson, J. R. (1999). *Carbon Dioxide Reduction Through Urban Forestry: Guidelines For Professional And Volunteer Tree Planters*. Albany, California: United States Department Of Agriculture-Usda.

Miguel, Pontereau, Steiner Y Hickie (2004). *Las Interacciones Planta-Planta Y Planta-Animal En El Contexto De La Sucesión Ecológica*. In: Valladares, F. (Ed.) Ecología Del Bosque Mediterráneo En Un Mundo Cambiante. Egraf: Madrid, P. 371-393.

Niinemets, Ü., y Valladares, F. (2006). *Tolerance To Shade, Drought, and Waterlogging of Temperate Northern Hemisphere Trees and Shrubs*. *Ecological Monographs*, *76*(4), 521–547. https://doi.org/10.1890/0012-9615(2006)076[0521:TTSDAW]2.0.CO;2.

Nikolopoulou M, Baker N, Steemers K., (2001) *Thermal Comfort In Outdoor Urban Spaces: The Human Parameter*. Solar Energy, 70(3), 227-235. DOI: 10.1016/S0038-092X(00)00093-1

Ochoa de la Torre, J.M.(1999). *La Vegetación Como Instrumento Para El Control Microclimático.*

Olgyay, V. (1968). *Clima y arquitectura en Colombia*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.

Organización Mundial de Meteorología (OMM) (2011).*Statement on the status of the global climate in 2010*. N° 1074, 2011, ISBN 978-92-63-11074-9, World Meteorological Organization, Ginebra, Suiza.

Oke, T.R.,(1987*). Boundary Layer Climates. Routledge, New York.*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

OKE, T.R.(1982).*The energetic basis of the urban heat island.* En: Quarterly Journal of Royal

Oke, T.R., R.A. Spronken-Smith, E. Jáuregui, and C.S.B. Grimmond. (1999). *The energy balance of Central Mexico City*. Atmos. Environ. 33:3919–3930. doi:10.1016/S1352-2310(99)00134-X

Peck, S.W. and Callaghan, C. (1999).G*reenbacks from Green Roofs: Forging a New Industry in Canada*. Ottawa: Canadian Mortgage and Housing Corporation.

Pena-Salmon C. A. y Rojas-Caldelas R. I.(2009). *Methodology for planning urban green areas: the case of Mexicali, Baja California, Mexico*. Sustainable Development and Planning IV, Vol. 1 (33) DOI: 10.2495/SDP090041.

Pongracz R., Bartholy J., Dezso Z., (2006), *Remotely sensed thermal information applied to urban climate analysis*. Advances in Space Research, 37(12): 2191–2196.

Reethof G y Mc Daniel OH (1978) A*coustics and the urban forest. In: Krishnamurthy L and Nascimiento JR. Green Urban Areas in Latinamerica and Caribe*. pp 24-25

Rivas, D. (2001). *Importancia Y Ambiente De Los Bosques Y Árboles Urbanos*. 1ª Ed. Universidad Autónoma Chapingo, México. 81 P.

Rizwan, A. M.; Dennis, L. Y.; Chunho, L. A. (2008). *review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island*. Journal of Environmental Sciences, v. 20, n. 1, p. 120-128. ISSN 1001-0742.

Reyes, I., & Gutiérrez, J. (2010). *Los servicos ambientales de la arborización urbana: Retos y aportes para la sustentabilidad de la Ciudad de Toluca*. *Quivera*, *12*(1), 96–102. Retrieved from http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40113202009%5CnCmo

Sibeli, F. (2009). *"Caracterización Y Percepción De La Arborización Urbana Enfocada A La Sostenibilidad ambiental"* .Recuperado de Http://Www.Arquitecturatropical.Org/Editorial/Documents/Arborizacionurbana.Pdf

Schjetnan, Mario et. al. (1984). *"Principios de Diseño Urbano Ambiental".* 12-35. Ed. Concepto. México.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Steadman (1979) y utiliza la humedad para calcular la sensación térmica.

TGI o EQI (*Thermohygrometric Global Index o Environmental Quality Index*) (2014): propuesto por Cannistraro et al.

Thom, E.C.(1959): *The disconfort index*.Wetherwise,12,pp.57-60.

Toudert, D., L(1996*) Articulacion Urbana con el Clima Intraregional y el Estudio de las Islas de Calor en la Ciudad de Mexicali*. Revista Calafia Vol. VIII, No. 4, 29-35.

Tricoire, E. (2003) Comfort Association EspacesTemps.net ISSN(s): 1777-5477. Switzerland.

UTCI (*Universal Thermal Climatic Index*): basado en la valoración de la respuesta fisiológica (Jendrizky, 2012).

Wan, W.C., Hien, W.N., (2012) A *Study on the Effectiveness of Heat Mitigating Pavement Coatings in Singapore.*

Ward Thompson, C., Aspinall, P., Roe, J., Robertson L. & Miller, D. (2016). *Mitigating Stress and Supporting Health in Deprived Urban Communities: The Importance of Green Space and the Social Environment*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 13, 440.

Wiesner Ceballos, Diana. (2004). *"Metodología Para La Definición De La Estrategia De Arborización,"* Memorias Del Foro Arborización Urbana Bogotá D.C. Alcaldía Mayor De Bogotá, Noviembre.

Wong, N., Yu, C. (2005). *Study of green areas and urban heat island ina tropical city*. Habitat International, 29: 547-558.

YU, C.; and HIEN, W. N.(2006) *Thermal Benefits of City Parks. Energy and Buildings*. vol. 38, no. 2, pp. 105-120

Zoologique, S., Soltani, N., & Mokhtar, B. (2016). SOLTANI N ., AMIRA A ., SIFI K . & BELDI H ., 2012 . *Environmental monitoring of the Annaba gulf (Algeria*): measurement (January 2012).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis