

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN
ARQUITECTURA Y SOSTENIBILIDAD

TÍTULO: *“EVALUACIÓN DE UN INDICADOR DE CONFORT TÉRMICO,
PARA ADAPTARLO A LAS CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS Y
CONFIGURACIÓN URBANA DE LA CIUDAD DE QUITO, CASO DE
ESTUDIO CALLES JUAN RODRÍGUEZ Y LIZARDO GARCÍA, BARRIO LA
MARISCAL”*

Volumen I

SANTIAGO JAVIER POZO NAVAS

TUTOR DE TESIS:
Arq. Grace Yépez PhD.

QUITO – ECUADOR
2017

Presentación

El Trabajo de Titulación: “*EVALUACIÓN DE UN INDICADOR DE CONFORT TÉRMICO, PARA ADAPTARLO A LAS CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS Y CONFIGURACIÓN URBANA DE LA CIUDAD DE QUITO, CASO DE ESTUDIO CALLES JUAN RODRÍGUEZ Y LIZARDO GARCÍA,*

BARRIO LA MARISCAL.”, se entrega en un DVD que contiene:

El Volumen I: investigación que da sustento al proyecto arquitectónico y la presentación para la defensa pública, todo en formato PDF.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de fin de carrera a todas las personas que de una u otra forma han sido parte de mi vida y que me han apoyado siempre en cada momento, a mis padres que todo el tiempo confiaron en mí, a mis hermanos que son incondicionales, a mis hijos Emanuel y Alejandro que desde pequeños son mi fuente de inspiración, a mi novia Alejandra que me incentivaba a continuar en esta maestría a pesar de mis contratiempos diarios; a toda mi familia, tíos y primos que siempre han estado conmigo en cada momento importante de mi vida.

Agradecimiento

Agradezco a cada uno de los profesores de la Facultad de Arquitectura Diseño y Artes que participaron en la Maestría de Arquitectura y Sostenibilidad, y con gran aprecio y consideración a la Arq. Grace Yépez, quien fue un pilar fundamental en los momentos de enseñanza en clases para todos mis compañeros y fue mi apoyo constantemente en la tutoría de esta investigación, gracias.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	1
Introducción	3
Planteamiento del Problema.-	4
Pertinencia de la Investigación	10
Hipótesis	12
Pregunta de Investigación.-.....	12
Objetivo General	12
Objetivos Específicos	13
Productos Esperados	13
Resultados Esperados	14
CAPITULO 1: ESTADO DEL ARTE	15
1.1 Morfología urbana y confort.-	15
1.2 Estudios sobre la evaluación del confort en espacios públicos	15
1.3 Herramientas de evaluación del confort urbano.-.....	17
1.3.1 Indicadores de Sostenibilidad Urbana.-	17
1.3.2 Software de Modelación Microclimática Holística, ENVI_MET 4.2.	21
1.3.3 Método de Fanger, “Thermal Comfort” año 1970.-.....	23
1.4 CONCLUSION.-	24
CAPITULO 2: METODOLOGÍA	26
2.1 Levantamiento de información del caso de estudio.-	26
2.2 Modelización y simulación.-	26
2.3 Análisis del estado actual.-	35
2.4 Generación de escenarios mejorados.-	35
2.5 Comparaciones entre escenarios (estado actual y propuesta de mejora).-.....	36
2.6 Conclusiones y Recomendaciones.-	36

CAPITULO 3: DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO.....	38
3.1 Calle Juan Rodríguez y Lizardo García.-	41
3.2 Plaza Gabriela Mistral.-	42
3.3 Plaza del Quinde (Plaza Foch).-	43
3.4 Sector Casa de la Cultura Ecuatoriana.-	44
3.5 Conceptos sobre el caso de estudio.-	45
3.5.1 Aspectos ambientales.-.....	45
3.5.2 Vialidad y trama urbana.-.....	46
3.5.3 Afectación de las edificaciones inventariadas.-	46
3.5.4 Accesibilidad vial hacia espacios públicos.-.....	47
3.5.5 Mejorar el potencial de confort.-.....	47
3.5.6 Definición de hitos o nodos referentes de sector.-	47
3.6 Elección del Caso de Estudio.-	48
CAPITULO 4: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA EN LOS CASOS DE ESTUDIO	49
4.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.-	49
4.1.1 Antecedentes Históricos.-	49
4.1.2 Características Morfológicas.-	51
4.1.3 Materiales superficiales.-	53
4.2 MODELACIÓN Y SIMULACIÓN.-	54
4.2.1 Construcción del modelo ENVI_met.-.....	54
4.2.2 Definición geográfica y climatológica	57
4.2.3 Caracterización componentes, materiales y albedo.	57
4.2.4 Caracterización de la vegetación.....	58
4.3 ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL.-	59
4.3.1 CASO DE ESTUDIO 1, calle Juan Rodríguez.-.....	60
4.3.2 CASO DE ESTUDIO 2, calle Lizardo García.-.....	60
4.4 GENERACIÓN DE ESCENARIOS MEJORADOS.-	74
4.4.1 MATRIZ DE EVALUACIÓN, Propuesta de Mejora Caso 2, Lizardo García.-75	
4.4.2 ESCENARIOS MEJORADOS, calle Lizardo García, simulación F y G.-	76
4.5 COMPARACIONES ENTRE ESCENARIOS MEJORADOS.-	81
4.6 CONCLUSIONES CASOS 1 Y 2.-.....	83

CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN	86
Bibliografía	89
ANEXOS	92

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1, Isla de Calor en la Ciudad de Quito, incremento de temperatura en zonas urbanas, y diferencias con los valles próximos a la ciudad, fuente: (DMDU - STHV, 2014)..6	
Ilustración 2, Distribución temporal de la temperatura basado en datos de la estación Quito Observatorio, periodo 1981-1999, analizado por el INAMHI, (ATLAS. Secretaría de Ambiente, 2016)	6
Ilustración 3, balance de radiación en la atmósfera, fuente: (Echave, 2007).....	7
Ilustración 4, Incremento de la intensidad de las radiaciones ultravioleta con la altitud,.....	7
Ilustración 5, sistema de indicadores y condicionantes, elaborado por: (Agencia d`Ecología Urbana de Barcelona)	18
Ilustración 6, Balance de confort, (Agencia de Ecologia Urbana de Barcelona - Sevilla, 2008)	19
Ilustración 7, Radiación Solar, y elementos que actúan en la modelación, (Agencia de Ecologia Urbana de Barcelona - Sevilla, 2008).....	19
Ilustración 8, funcionamiento modelo ENVI-met, (Simon, 2016)	22
Ilustración 9, ecuación de confort de Fanger (PMV – PPD), (Mas, 2015).....	24
Ilustración 10, Manage Workspace, ENVI_met, fuente: (Bruse, 2017).....	27
Ilustración 11, 3 diferentes geometrías, definición de escala de cálculo del árbol, fuente: ALBERO, (Simon, 2016)	29
Ilustración 12, modelo construido SPACE – ENVI_met, fuente: (Bruse, 2017)	29
Ilustración 13, ventana del programa ENVI_met BIOMET V1.5, fuente: (Bruse, 2017).....	32
Ilustración 14, programa LEONARDO – ENVI_met, herramientas, fuente: propia.....	33
Ilustración 15, LEONARDO – ENVI_met, CASO 1, escenario 1, calle Juan Rodríguez, análisis del PMV, PLANO (X-Y), hora: 7:00, fuente: (Bruse, 2017)	34
Ilustración 16, LEONARDO – ENVI_met, CASO 1, escenario 1, calle Juan Rodríguez, análisis del PMV, PLANO (Y-Z), hora: 7:00, fuente: (Bruse, 2017).....	34
Ilustración 17, Grafico PMV software LEONARDO-ENVI_met, tramo de vía analizado, histograma del escenario, fuente: elaboración propia, gráficos (Bruse, 2017).....	34

Ilustración 18, Sector La Mariscal, contexto con el Distrito Metropolitano de Quito, fuente: elaboración propia.....	38
Ilustración 19, altura de edificación avenidas y.....	39
Ilustración 20, plano isotermas de temperatura, Islas de calor, sector LA MARISCAL, Quito, 10 de julio del 2016 Fuente: (Proaño & Pozo, 2016)	40
Ilustración 21, plano la Mariscal 4 sectores de análisis propuestos, elaboración propia.....	41
Ilustración 22, contexto histórico calle Juan Rodríguez, año 1940 / 2010, fuente: (Ponce, La Mariscal historia de un barrio moderno en Quito S. XX, 2011).....	42
Ilustración 23, zona determinada como caso de estudio 1,.....	42
Ilustración 24, ubicación Plaza Gabriela Mistral, Calles Baquerizo Moreno, Reina Victoria,43	
Ilustración 25, Ubicación, Plaza del Quinde (Plaza Foch), fuente: (Googlemaps, 2015)	44
Ilustración 26, Ubicación sector Casa de la Cultura Ecuatoriana, fuente: (Googlemaps, 2015)	45
Ilustración 27, ejes urbanos dominantes sector la Mariscal, trama ortogonal por zonas, fuente: propio	46
Ilustración 28, Casas inventariadas calle Juan Rodríguez fuente: fichas casas inventariadas MDMQ.....	50
Ilustración 29, Casas inventariadas calle Lizardo García, fuente: fichas casas inventariadas MDMQ elaboración: propia.....	51
Ilustración 30, calle Juan Rodríguez, denominada ciudadela Bolívar, diseñados entre 1935 y 1945, fuente: (Ponce, 2011) tomada de revista “Trama”, No. 7/8, 1978.....	52
Ilustración 31, objetos de la simulación, ENVI_met, CASO 1, calle Juan Rodríguez CASO 1, Cubiertas, arborización y vialidad, elaboración propia.	52
Ilustración 32, calle Lizardo García – CASO 2, vía asfalto, poca arborización, edificaciones, elaboración propia.....	53
Ilustración 33, materiales identificados en los casos 1 y 2, elaboración propia.	54
Ilustración 34, construcción del modelo ENVIMET, CASO 1, Escenario 1, definición de escala y grilla, calle Juan Rodríguez, elaboración propia.....	55
Ilustración 35, construcción del modelo ENVIMET, CASO 1, calle Juan Rodríguez, definición de escala y grilla, elaboración: propia.	56
Ilustración 36, construcción del modelo ENVIMET, Caso de estudio 2, calle Lizardo García, definición de escala y grilla,, elaboración: propia.	56
Ilustración 37, construcción de vegetación, SPACE / ALBEDO – fuente: (Bruse, 2017).....	59

Ilustración 38, Sensación térmica PMV - calle Juan Rodríguez 1940-1980, Simulación A, (mes cálido - agosto), programa ENVI_met, fuente: elaboración propia	68
Ilustración 39, histogramas PMV - calle Juan Rodríguez (año 2017), Simulación B, mes cálido (agosto), programa ENVI_met, fuente: elaboración propia.....	70
Ilustración 40, histogramas PMV - calle Juan Rodríguez (año 2017), Simulación C, mes frío (febrero), programa ENVI_met, fuente: elaboración propia.	72
Ilustración 41, comparación sensación térmica y potencial de horas, simulaciones A, B y C, fuente: elaboración propia.....	73
Ilustración 42, Sensación térmica PMV / PPD y potencial de horas, calle Lizardo García, mes cálido Agosto, programa ENVI_met, fuente: elaboración propia.....	62
Ilustración 43, Sensación térmica PMV / PPD, calle Lizardo García, (febrero-frío), programa ENVI_met, fuente: elaboración propia	64
Ilustración 44, comparación sensación térmica y potencial de horas, fuente: elaboración propia	65
Ilustración 45, potencial de horas de confort por índice de sensación térmica PMV, fuente: elaboración propia.....	82
Ilustración 46, comparativo, potencial de confort, casos de estudio 1 y 2, calle Juan Rodríguez y Lizardo García, mes cálido agosto, fuente: elaboración propia	84
Ilustración 47, comparativo, potencial de confort, casos de estudio 1 y 2, calle Juan Rodríguez y Lizardo García, mes frío febrero, fuente: elaboración propia	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1, potencial de confort térmico por categorías (Barcelona, 2010), fuente: elaboración propia	20
Tabla 2, categorías potencial de confort (España), fuente: (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2009)	21
Tabla 3, altura de edificación La Mariscal, calles y avenidas, fuente: elaboración personal	39
Tabla 4, matriz de evaluación para definición del caso de estudios, fuente propia	48
Tabla 5, base de datos, materiales utilizados en simulación, caso 1 y 2, ENVI_met, fuente: (Bruse, 2017)	58
Tabla 6, base de datos, materiales en suelo, caso 1 y 2, ENVI_met, fuente: (Bruse, 2017)	58
Tabla 7, distribución de casos de estudio, simulaciones, estado y mes de modelación, fuente: elaboración propia.	66
Tabla 8, categorías de confort térmico, calle Juan Rodríguez, (Barcelona, 2010), fuente: elaboración propia	74
Tabla 9, casos de estudio 2, simulaciones, estado y mes de modelación, fuente: elaboración propia.	60
Tabla 10, Caso de estudio No. 2, calle Lizardo García.	75
Tabla 11, Matriz de evaluación de criterios en propuesta, calle Lizardo García, elaboración propia.	76
Tabla 12, categorías de confort térmico, calle Lizardo García, estado actual y propuesta de mejora.	81
Tabla 13, CASOS DE ESTUDIO 1 Y 2 – cuadro comparativo potencial de confort térmico, fuente: elaboración propia	83

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1, calles Lizardo García y Juan Rodríguez, estado actual, fuente: (Googlemaps, 2015)	42
Fotografía 2, plaza Gabriela Mistral, lado este, fuente: personal	43
Fotografía 3, Plaza del Quinde (Plaza Foch, Calles: Reina Victoria y Mariscal Foch Fuente: (Googlemaps, 2015)	44
Fotografía 4, fotografías calle Patria y 12 de octubre, fuente: (Googlemaps, 2015)	45

Fotografía 5, Calle Juan Rodríguez, fuente: (Googlemaps, 2015). Este escenario considera la características morfológicas, vegetación y materiales de la calle Juan Rodríguez en su contexto actual (año 2017). 69

Fotografía 6, Calle Lizardo García, caso de estudio 2, (Googlemaps, 2015). Este escenario considera la características morfológicas, vegetación y materiales en su contexto actual (año 2017). 61

Fotografía 7, Calle Lizardo García, caso de estudio 2, (Googlemaps, 2015). Este escenario considera la características morfológicas, vegetación y materiales en su contexto actual (año 2017). 63

Fotografía 8, Calle Lizardo García, caso de estudio 2, este escenario considera las estrategias definidas en la matriz de evaluación para la propuesta de mejora (año 2017-agosto cálido). 77

Fotografía 9, Calle Lizardo García, caso de estudio 2, este escenario considera las estrategias definidas en la matriz de evaluación para la propuesta de mejora (año 2017-febrero frío). 79

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1, Cuadro requerimientos mínimos y resultados indicador de confort térmico, tejidos centrales, medios y residenciales. Fuente: (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2009)	92
ANEXO 2, Plano que indica el % de horas de confort por tramo de calle, (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2009)	94
ANEXO 3, TRANSECTO URBANO, EJERCICIO 2, Datos 10 de julio del 2016,.....	95
ANEXO 4, DATOS HOBBO, 10 de julio del 2016 de 5:40 a 7:20, sector de La Mariscal fuente: (Proaño & Pozo, 2016)	95
ANEXO 5, MAPA HUMEDAD RELATIVA, LA MARISCAL, 10 de julio del 2016 fuente: (Proaño & Pozo, 2016)	96
ANEXO 6, Orientación de vías, sector la Mariscal, fuente: elaboración propia.	97
ANEXO 7, Mapa anchos viales La Mariscal, Quito, fuente: (AZTLM, 2016)	97
ANEXO 8, Arborización existente sector “La Mariscal”, fuente: (AZTLM, 2016)	98
ANEXO 9, Usos de Suelo sector la Mariscal, fuente: (AZTLM, 2016),.....	99
ANEXO 10, Altura de edificación, fuente: elaboración personal	99
ANEXO 11, RESUMEN DATOS CLIMATOLOGICOS CLIMATE CONSULT	100
ANEXO 12, ANALISIS SENSACION TERMICA, DIAGRAMAS PMV – ENVIMET	101

ANEXO 13, RANGO DE COBERTURA DE CIELO, QUITO – ECUADOR, Fuente:
CLIMATE CONSULT 102
ANEXO 14, Rango de Radiación fuente: (CLIMATE CONSULTANT, 2014)..... 102
ANEXO 15, Rango mensual y diurno de temperatura y radiación, fuente: (CLIMATE
CONSULTANT, 2014)..... 103

INDICE DE FICHAS

Ficha 1, evaluación de resultados, SIMULACION A67
Ficha 2, evaluación de resultados, SIMULACION B.....69
Ficha 3, evaluación de resultados, SIMULACION C.....71
Ficha 4, evaluación de resultados, SIMULACION D61
Ficha 5, evaluación de resultados, SIMULACION E.....63
Ficha 6, evaluación de resultados, SIMULACION F77
Ficha 7, evaluación de resultados, SIMULACION G79

RESUMEN

Los niveles de confort térmico en el espacio público representan un indicador de calidad de vida de los habitantes. En un contexto de cambio climático y presencia de eventos meteorológicos cada vez más fuertes y frecuentes, lograr el confort urbano es una exigencia para las ciudades. En esta dinámica un aspecto fundamental en la planificación de las ciudades existentes es la transformación de los espacios abiertos públicos. Estos exigen mayores potencialidades de permanencia, circulación e interrelación en condiciones confortables para su diseño creemos es necesario simular y así optimizar las propuestas de mejora en estos temas. La experimentación con nuevas herramientas que nos permitan evaluar indicadores de confort es necesaria y en el Ecuador esta práctica es escasa o inexistente.

Esta investigación adapta una metodología y utiliza un software para evaluar la utilización de un indicador de confort térmico; para esto analizamos las características climáticas, morfológicas y formales del caso de estudio, el comportamiento térmico y simulamos la actividad metabólica de las personas que se define por el balance de energía y la transferencia de calor por conducción y convección de los elementos del contexto urbano, obteniendo el potencial de confort por cada hora del día y en varios escenarios. Hemos utilizado el software de simulación (*ENVI-met*), que analiza en forma dinámica el intercambio de energía entre los distintos componentes físicos que caracterizan una vía, logrando determinar: el potencial de habitabilidad térmica, el porcentaje de horas de confort para el peatón durante las horas útiles del día y los índices de sensación térmica. Estos resultados, se clasifican en cinco categorías de confort; determinadas por el indicador de confort térmico “*AMBITO 02. ESPACIO PÚBLICO Y HABITABILIDAD*”, aprobado en el año 2010 por la (Agencia d'Ecología Urbana de Barcelona), este permite analizar cuantitativa y cualitativamente el comportamiento térmicos de una estructura urbana como la calle.

Para la aplicación del indicador de confort térmico propuesto se estudió diferentes escenarios de las calles Juan Rodríguez y Lizardo García, ubicadas en el barrio “la Mariscal” en la ciudad de Quito, por sus características urbano-morfológicas similares pero con tratamientos específicos diferentes a nivel de arbolado, jardines frontales entre otras características, estos casos de estudio son clave para entender los indicadores de confort

propuestos. El objetivo es la evaluación del indicador para la ciudad de Quito. Esta propuesta busca aportar una herramienta de planificación territorial, que permita investigar, caracterizar y simular los espacios urbanos abiertos, contrastar resultados, establecer propuestas y aportar en normativas técnicas más adaptadas a nuestra realidad urbana, y que contribuyan en la resiliencia de ciudad frente al cambio climático.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el 54% de la población mundial vive en las zonas urbanas y se determina que para el año 2050 el 66% de la población mundial vivirán en zonas urbanas (Centro de Noticias, ONU, 2014). El crecimiento de la ciudad y las actividades urbanas, generan un incremento de los efectos térmicos, cambios en los microclimas urbanos, reducción de la biodiversidad, incremento del consumo de energía en sistemas de refrigeración, crecimiento de los problemas de salud producidos por la isla de calor urbana, las altas tasas de contaminación y olas de calor (Simon, 2016). Las ciudades son cada vez más inconfortables por estos fenómenos.

Las ciudades debido al crecimiento demográfico buscan aumentar y adecuar zonas urbanas que beneficien las actividades sociales, económicas y habitacionales, y esto exige replantear conceptos en la proyección urbana de espacios públicos; en esta dinámica un aspecto fundamental es la transformación de los espacios urbanos abiertos (calles y plazas) con mayores potencialidades de permanencia, circulaciones e interrelaciones en condiciones confortables. Los niveles de confort térmico, que varios autores proponen en el espacio público, representan un indicador de su estado y de la calidad de vida de estos espacios en la urbe, además se establece como un componente importante de los microclimas urbanos.

Esta investigación evalúa la aplicación de un indicador de confort térmico que mediante una herramienta de modelación analiza los microclimas urbanos de dos calles, sus fundamentos físicos, los aspectos formales del sitio, el comportamiento térmico definido por el balance de energía y la transferencia de calor obteniendo el potencial en las horas útiles contrastando los resultados en varios escenarios. Para esto se utiliza un software de simulación denominado (*ENVI_MET 4.2*), que analiza en forma holística el intercambio de energía entre los distintos componentes físicos del contexto urbano.

La metodología para evaluar el indicador de confort térmico fue desarrollada por la “*Agencia de Ecología Urbana de Barcelona*”, y este estudia en forma cuantitativa y cualitativa el comportamiento térmico de la estructura urbana. El indicador de confort térmico (Cter), determina el potencial de horas útiles en condiciones adecuadas que tiene una vía pública para el transeúnte; este considera el clima, la orientación de la vía, las

características morfológicas y las proporciones de las edificaciones aledañas, los materiales superficiales exteriores, la presencia de arbolado urbano y vegetación baja, las zonas permeables del suelo, y la actividad metabólica de las personas. El resultando se lo expresa en % (porcentaje) de las 15 horas útiles definidas en el transcurso del día (7:00 a 22:00 horas).

Para la aplicación y estudio del indicador de confort térmico en nuestro contexto se define diferentes escenarios de estudio en el barrio “la Mariscal” en la ciudad de Quito. Se toman dos calles en el mismo sector pero con características urbano-morfológicas similares pero con ciertas diferencias como el arbolado que pueden ser muy importante a nivel del confort urbano. La calle Juan Rodríguez originalmente denominada ciudadela Bolívar, fue construida entre los años 1935 y 1945, sus casas o chalets de estilo Holandés, están construidas en dos pisos altos, y un ático particularmente con techos inclinados. Adicionalmente a lo largo de toda la vía existe una extensa arborización de (*Platanus Acerifolia*), esta especie introducida caracteriza singularmente las condiciones de luz y sombra al momento de circular peatonalmente. En los años 70’s los dueños de las viviendas fueron transformando parcialmente el retiro frontal, utilizando como bodegas y locales en beneficio del comercio de la zona, transformando su condición original y eliminando jardines y zonas permeables. La calle Lizardo García tiene iguales condiciones históricas, arquitectónicas y espaciales con respecto a la anterior, sin embargo en las últimas décadas se han derrocado casas originarias y han sido remplazadas por edificaciones de hormigón armados de tres o más pisos, actualmente la vía tiene muy poca arborización en la aceras y la calzada está constituida por asfalto que es un material predominante a lo largo de la vía.

Planteamiento del Problema.-

El cambio del clima y su efecto en las ciudades.- El calentamiento global en gran parte es responsabilidad inducida por los seres humanos, y avanza a un ritmo sin precedentes en los últimos 1300 años (ATLAS. Secretaría de Ambiente, 2016). El clima mundial es muy variable, dinámico y en constante cambio, sin embargo en las últimas décadas estos cambios se producen en lapsos de tiempo más cortos, y su incremento tiende a ser exponencial. Las alteraciones del clima han ocurrido en millones de años sin embargo en la actualidad suceden en decenas de años. (Shaftel, 2016) Estos fenómenos son cada vez más violentos y las

ciudades no están diseñadas para adaptarse a estos cambios. Las ciudades ocupan un 3% aproximadamente de la superficie de la tierra, emiten el 71% de gases del efecto invernadero, generan residuos produciendo cambios sobre todo en ámbitos naturales vulnerables y estas alteraciones ya se evidencian (Lamiña & Jácome, 2016) en ella habitarán más del 60% de la población mundial en el 2050 (Centro de Noticias, ONU, 2014).

Efecto de isla de calor urbana y radiación.- La isla de calor urbana es un fenómeno microclimático que ocurre dentro de ciudades y consiste en evidenciar temperaturas más cálidas que en el entorno rural periférico (Ilustración 1). El desarrollo de las ciudades y la continua urbanización hacen de este fenómeno un elemento fundamental para los interesados locales y planificadores urbanos. Este fenómeno no es una consecuencia directa del cambio climático pero este acentúa más este fenómeno en las ciudades, amenazando la salud y calidad de vida de las personas debido a las temperaturas extremas sobre todo en verano (Musco, 2016). Estos efectos se incrementan también por la falta de zonas permeables, poca arborización y zonas de sombra además por la configuración urbana que produce efectos denominados “*cañón urbano*”; este efecto de acumulación de calor se observan en el sectores edificados de las ciudades, mientras que en los valles aledaños sin obstrucción a la circulación de los vientos predominantes se disipa con mayor rapidez; algunos autores definen al fenómeno de isla de calor como:

“Las islas de calor es el nombre dado a un fenómeno meteorológico que se produce en las ciudades con un alto grado de urbanización. En estas ciudades, la temperatura media suele ser mayor que en las áreas rurales cercanas.” (Lohan, 2012)

“... las islas de calor es un efecto invernadero local, pues los gases se encierran en un solo lugar provocando una cápsula que absorbe calor del sol. Los materiales que forman la ciudad absorben la radiación solar de onda corta y la emiten posteriormente con una longitud de onda más larga, frecuencia que resulta retenida por partículas en suspensión y gases de combustión. La cápsula de gases sólo puede ser rota por los vientos, si en la superficie hay demasiados edificios de mucha altura el aire es obstruido y no se rompe, sin embargo hasta lo más natural puede provocar un receptáculo de calor. (Carreras, 1990)”

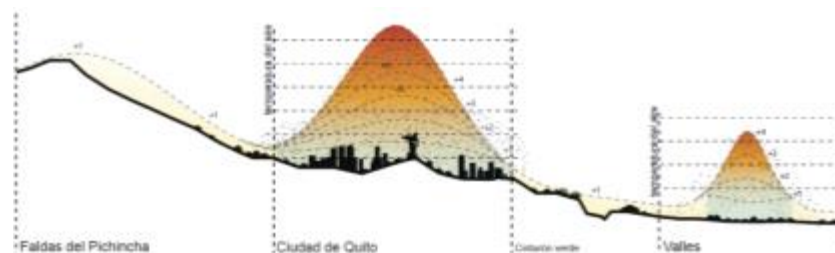


Ilustración 1, Isla de Calor en la Ciudad de Quito, incremento de temperatura en zonas urbanas, y diferencias con los valles próximos a la ciudad, fuente: (DMDU - STHV, 2014)

Este cambio de temperatura y la generación de islas de calor también están afectando a la ciudad de Quito, la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito en su publicación (ATLAS. Secretaría de Ambiente, 2016), estima que entre 1891 y 1999 en el DMQ la temperatura promedio se incrementó entre 1,2°C y 1,4°C, esto produjo un decrecimiento en un 8% de las precipitaciones anuales; y sobre la base de las estaciones meteorológicas en la ciudad, se define que la temperatura para el año 2050 tendrá un incremento de 2,5°C, además presenta un estudio sobre los *Índices de Tendencias Climáticas 'Climdex'*, que después de analizar diez estaciones meteorológicas en las provincias de Pichincha y Napo, con datos diarios en el periodo comprendido entre los años 1984-2012 (28 años), se evidencia que las temperaturas mínimas y máximas se incrementan en una tasa de 0,00 a 0,5°C por cada década; esto se refleja en el incremento de días cálidos, decremento de días y noches fríos y el incremento de días secos. (ATLAS. Secretaría de Ambiente, 2016)

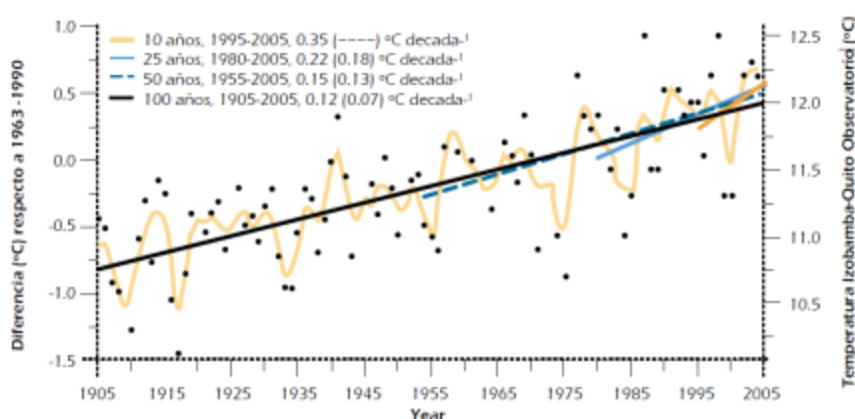


Ilustración 2, Distribución temporal de la temperatura basando en datos de la estación Quito Observatorio, periodo 1981-1999, analizado por el INAMHI, (ATLAS. Secretaría de Ambiente, 2016)

La radiación incidente en la vía.-

La Organización Mundial de la Salud (OMS), indica que el límite máximo tolerable de radiación de acuerdo al índice ultravioleta (IUV) para el ser humano es 11 (Ilustración 4); y conforme un estudio realizado por la Secretaría de Ambiente MDMQ, en el periodo de 2009 a 2011, en la ciudad de Quito el (45,20% del año) el (IUV) es cercano a 11 (nivel considerado extremo); esta exposición extrema a los rayos ultravioletas justifica la necesidad de analizar el confort de espacio público y planificar zonas de protección a los efectos de la radiación; es por ello que minimizar los efectos de la radiación solar se convierte en la principal estrategia para conseguir microclimas favorables y un mayor potencial de horas de confort en el espacio público de la ciudad de Quito. (La Hora, 2016)

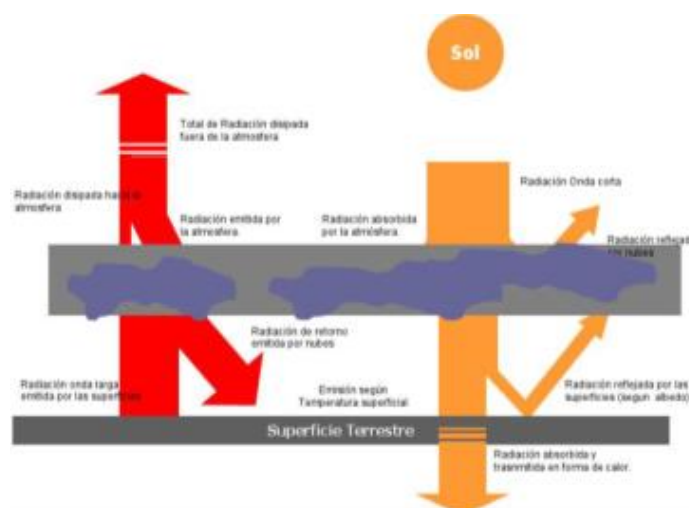


Ilustración 3, balance de radiación en la atmósfera, fuente: (Echave, 2007)

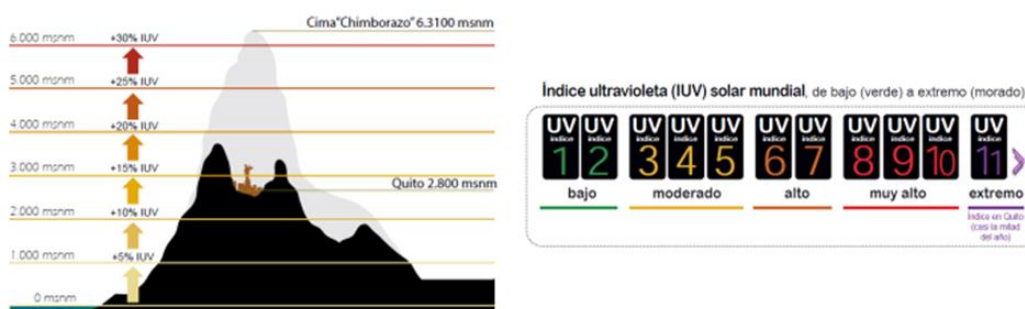


Ilustración 4, Incremento de la intensidad de las radiaciones ultravioleta con la altitud, Índice ultravioleta, fuente: (DMDU - STHV, 2014),

Sostenibilidad y resiliencia urbana.-

Es la capacidad que tiene un sistema de cambiar a un estado igual y/o mejorar sus condiciones luego de sufrir cambios sustanciales en el tiempo, la resiliencia urbana de los

ciudadanos y su ecosistema tiene un potencial en prevenir, absorber y recuperarse en forma dinámica de los cambios sean naturales o internos de la ciudad. Muchas ciudades en todo el mundo se están preparando para ser más resilientes protegiendo a sus habitantes, sus bienes y la capacidad de continuar operativas ante una posible crisis futura.

En Quito, el Plan de Resiliencia se lo elaboró previo al evento Hábitat III, y se constituye con un enfoque que no solo ve la vulnerabilidad de la urbe, sino el potencial que puede existir en la reconstrucción. Estos razonamientos corresponden con el ámbito ambiental, territorial, económico y de movilidad urbana del Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015 – 2025. Conforme una encuesta realizada por el grupo Arup y la Fundación Rockefeller, para los ciudadanos de Quito el principal problema es la movilidad urbana, y la solución depende de sistemas de movilidad más eficiente y activos como es el caminar y el uso de la bicicleta. Para esto la ciudad debe repensar las calles en función del clima y del confort de sus usuarios para asegurar su uso y de esta manera aportar una solución de movilidad más sostenible y menos contaminante a sus ciudadanos. La gran mayoría de las calles de Quito por sus características morfológicas y de equipamiento urbano no están aptas a este desafío.

Políticas públicas sobre indicadores en el Ecuador.-

La Constitución ecuatoriana del 2008, indica que todos los ciudadanos tenemos derecho al acceso y participación del espacio público, un hábitat seguro y saludable, tenemos derecho a la ciudad fundamentada en la gestión democrática, acceso a bienes y servicios públicos y privados de calidad. En la Ordenanza Metropolitana No. 170, que contiene el *PLAN DE DESARROLLO 2012 – 2022*, para el Distrito Metropolitano de Quito, capítulo “13.3 *POLÍTICAS, PROGRAMAS Y METAS*, indica: “*que se debe fortalecer un modelo institucional que permita brindar servicios internos y externos para el logro de los planes municipales, acciones enmarcadas en indicadores claros y transparentes que den cuenta de una gestión eficiente y autónoma del Municipio en el Distrito.*” (Concejo Metropolitano de Quito, 2011), y dentro de sus objetivos está: recuperar la vegetación natural en el Distrito Metropolitano de Quito mediante una activa participación ciudadana y reduciendo su vulnerabilidad al cambio climático. También existen metas para el año 2022 y es recuperar 20.000 Ha de vegetación, estos procesos de reforestación y recuperación incorporan criterios de ornamentación así como complementación de las intervenciones urbanas, sin embargo, su

aplicabilidad no está definida. Por lo que es evidente que las políticas públicas en el DMQ necesitan de herramientas que utilicen indicadores específicos para evidenciar en su contexto la problemática de la ciudad, priorizar las intervenciones y su eficiencia considerando los recursos limitados que posee.

Actualmente la Secretaría de Ambiente del DMQ, en su libro “*Atlas Ambiental Quito Sostenible 2016. Municipio de Quito*”, expone varias investigaciones para determinar indicadores sobre la huella de carbono, huella hídrica, huella ecológica y el inventario de emisiones GEI (Gas de Efecto Invernadero); estos instrumentos son importantes para orientar la gestión ambiental permitiendo conocer los efectos del cambio climático en la ciudad de Quito. Estas iniciativas municipales se enfocan en la visión conceptual de la ciudad a gran escala (zonal o metropolitano), sin embargo es necesario realizar investigaciones con indicadores de confort a una escala menor (sectorial o barrial), permitiendo determinar con sus resultados líneas de acción más efectivas en la problemática urbana actual.

Hoy en día hay varios centros de investigación universitaria y entidades público privadas que han analizado la problemática del clima en las ciudades mediante herramientas de modelación que permiten una aproximación en tiempo real al fenómeno. Principalmente estos estudios se refieren a ciudades con alta densidad poblacional y graves problemas de contaminación ambiental. En la ciudad de Barcelona – España, existen varios ejemplos sobre investigaciones previas y uno es el caso de la tesis doctoral realizada por María del Carmen Moreno García, sobre los efectos directos de la Isla de calor, consiste en implementar una metodología para la medición de la isla de calor (temperatura) a través de recorridos o transeptos dentro de un sector definido. (Echave, 2007).

Actualmente en las ciudades, los espacios públicos en condiciones confortables son una necesidad invaluable frente a los fenómenos de la isla de calor, y la demanda de estos espacios se incrementa constantemente por el crecimiento demográfico; estas condiciones promueven nuevas y diversas actividades comerciales así como recreacionales, incentivando la convivencia de los habitantes. De lo enunciado es importante puntualizar que en el Ecuador el análisis sobre el espacio público, las herramientas de evaluación, sus efectos térmicos y de confort han sido limitados.

En Quito, la rehabilitación urbana de las vías en sectores consolidados, se estructura habitualmente en forma poco técnica e instintiva, utilizando herramientas que solucionan únicamente la funcionalidad y sus necesidades inmediatas, además se sustentan en el criterio de urbanistas y actores locales con necesidades puntuales, sin considerar en muchos casos las investigaciones realizadas por la comunidad universitaria y científica internacional o del país; por otro lado, las decisiones en los planes de ordenamiento territorial tienen influencias políticas que ejercen presión en las propuestas científicamente planteadas. Esta práctica es común y las ciudades se modifican sin saber precisamente si estos cambios van a aportar a mejorar el confort urbano de las zonas intervenidas.

Esta investigación pretende proponer herramientas adaptadas a estas necesidad, estudiando la problemática de las anomalías térmicas en el espacio público como la calle, adaptando herramientas al contexto local para producir un indicador de confort térmico; buscamos con este trabajo aportar en la construcción de una base conceptual, científica e investigativa que puede ser considerada para la elaboración de ordenanzas y normativas aplicadas a la planificación de los espacios abiertos de la ciudad.

Es importante concluir que la problemática global del cambio climático y los altos niveles de radiación afectan directamente a la ciudad de Quito, y con singular importancia las vías públicas mediante el fenómeno denominado “Isla de calor”; además existen herramientas como el indicador de confort térmico que mediante simulaciones permite identificar cuantitativamente y cualitativamente el estado y las condiciones térmicas de una vía urbana, generando estrategias resilientes efectivas que modifiquen favorablemente las condiciones de confort a un bajo costo.

Pertinencia de la Investigación

En la actualidad, los espacios públicos urbanos en la ciudad de Quito tienen intervenciones arquitectónicas que por lo general no responden a requerimientos técnicos; y los espacios verdes permeables son sujetos a intervenciones anti-técnicas sin estudios para comprender su efecto indirecto en las condiciones de confort térmico del sector. Es importante comentar que las temáticas sobre indicadores de confort térmicos no están referidas en ordenanzas metropolitanas, leyes o reglamentos vigentes.

En el Ecuador la planificación urbana del espacio público y la vialidad se desarrolla en forma instintiva, con metodologías sensoriales apoyadas por actores locales y técnicos urbanistas; las decisiones en los planes de ordenamiento territorial están influenciadas por políticas públicas principalmente; por lo que es evidente la importancia de la utilización de herramientas científicas que expongan claramente la situación de un territorio permitiendo planificar soluciones adaptadas a las deficiencias y necesidades de la ciudad.

Este estudio propone utilizar la evaluación de un indicador que puede ser una herramienta para evidenciar características y datos cuantitativos de las transformaciones realizadas en la vía pública, con el fin de entender su estado, esto promueve la toma de decisiones priorizando obras de ejecución eficientes frente al confort urbano de sus usuarios.

La evaluación, construcción o adaptación de indicadores urbanos a nuestra realidad y contexto ecuatoriano es una acción necesaria para validar modelos creados en contextos lejanos y proponer herramientas de análisis más adecuadas a nuestras ciudades.

Las herramientas existen pero no se han aplicado en casos locales, esto no ha permitido confrontar estas herramientas a características particulares de nuestras ciudades y por ende no tenemos resultados que nos muestren si estas herramientas son pertinentes o no para nuestros contextos andinos. El indicador de confort térmico aplicado mediante programas de simulación, analiza los índices de confort de una vía mediante la transferencia de calor y temperatura radiante proyectada por su geometría a una escala menor como es una calle. La necesidad de trasladar los índices de confort a una valoración de escala urbana requiere utilizar softwares y modelos de simulación que analizan en forma dinámica la transferencia de calor entre la geometría parametrizada de la calle, y además la temperatura radiante de las superficies.

Esto muestra la necesidad y pertinencia de analizar estos fenómenos de manera local aplicada y adaptando herramientas que permiten la evaluación de indicadores de confort urbano en espacios públicos abiertos (tipo calle) en la ciudad de Quito.

Hipótesis

El confort de los espacios exteriores de la ciudad como calles y plazas está determinado por la situación geográfica, las características morfológicas de sus cierres urbanos, variables climatológicas como la radiación, temperatura, viento, humedad relativa, la pluviometría, etc., que caracterizan a cada lugar en el mundo; sin embargo, el principal parámetro que influye en el balance térmico y en el potencial de confort de los espacios exteriores es la radiación solar incidente en las superficies, las personas y en la vegetación.

Por lo expuesto además de las características climáticas y la radiación solar extrema en la ciudad de Quito, para este trabajo se plantea la siguiente hipótesis:

Es posible evaluar indicadores de confort térmico, en espacios urbanos abiertos como las calles de la ciudad de Quito para establecer características y comportamientos térmicos de ciertos elementos de las calles que influyen en el confort urbano de estos lugares.

Pregunta de Investigación.-

En base a la hipótesis planteada y considerando la norma ISO-7730 basado en el modelo de Fanger (1972), que tiene relación al balance de energía y a los modelos de confort la pregunta planteada es:

Cómo evaluar el confort de la calle en el caso de Quito y a través de que indicadores es posible hacerlo?

Objetivo General

Evaluar el confort térmico del espacio público tipo calle, adaptar su metodología y validar un indicador para los espacios de este tipo en la ciudad de Quito.

Objetivos Específicos

Utilizar un indicador de confort térmico, que permita medir sus condiciones en forma cuantitativa y comparativa.

Establecer una metodología mediante softwares de simulación que analice las condiciones de confort térmico en las vías de la ciudad de Quito, permitiendo visualizar los resultados en forma comparativa y gráfica.

Modelizar la orientación, proporción de las vías y morfología urbana mediante una herramienta informática adaptada que permita evidenciar el potencial de habitabilidad térmica en los meses más críticos de año de un espacio urbano público abierto como la calle.

Evaluar mediante una herramienta de modelación los factores físicos incidentes, materiales, geometría y su microclima, para obtener condiciones más favorables de confort para los usuarios de la calle.

Valorar el efecto que tiene la vegetación en las calles de ciudad, a través de herramientas de modelación virtual.

Productos Esperados

- Una metodología adaptada, que permita definir y evaluar las condiciones en que se encuentra una vía pública.
- Un índice de confort y su aplicación en los espacios públicos abiertos tipo calle que permita evidenciar los problemas de la misma y que ayuden a establecer soluciones prioritarias con altos beneficios.

Resultados Esperados

- Obtener resultados cuantitativos porcentuales sobre las condiciones de confort en que se encuentra la calle analizada, categorizando el potencial de habitabilidad térmica en que se encuentra.
- Evaluar cada componente urbano, su efecto en el comportamiento térmico de una vía y su configuración espacial determinado los elementos más adecuados que puedan ser implementados de forma más viable en la recuperación urbana.
- Establecer mediante simulación cuáles son los meses en el año en que los valores de radiación incidente son extremos, considerando el porcentaje de nubosidad o factor de vista de cielo.
- Determinar la categoría mínima aceptable de confort en los casos de estudio, permitiendo realizar modificaciones urbanas en los escenarios con limitaciones evidentes de confort.
- Obtener una metodología de análisis utilizando la herramienta de modelación, que permite analizar nuevos casos de investigación en la ciudad.

1 CAPITULO: ESTADO DEL ARTE

1.1 Morfología urbana y confort.-

La morfología urbana es un factor incidente en el funcionamiento del sistema y está definida por el volumen edificado situado en la vialidad urbana; la disposición de estos elementos condiciona en gran medida los usos y actividades que a largo definen la evolución de los emplazamientos. Los tejidos urbanos se diferencian entre sí por las características del volumen edificado con respecto al espacio libre. El comportamiento térmico de cada tejido urbano produce condiciones micro climáticas a nivel de calle muy diferentes, y dependiendo de las características de cada espacio pueden favorecer o agudizar los niveles de confort de las personas. (Echave, 2007) Para cada espacio sean públicos o privados existen una serie de factores relacionados con el tejido urbano que condicionan su comportamiento térmico y por tanto su potencial de confort. Las características del tejido urbano que interesan para cada conjunto de espacios desde el punto de vista térmico son: la orientación, tramos de calle o plazas, obstrucción de edificios, proporción de calle, factor de vista de cielo, proximidad a paramentos verticales, acera, centro de calle, pendiente y relieve. (Echave, 2007)

1.2 Estudios sobre la evaluación del confort en espacios públicos

En la Conferencia Internacional de Física Urbana (FICUP), Quito – 2016 organizada por la PUCE, Yasin Toparlar investigador de la Universidad Tecnológica de Eindhoven Países Bajos, expuso su investigación: “*Análisis computacional del impacto de un parque urbano en el microclima de Antwerp*”; mostrando que las áreas urbanas se producen reemplazando el entorno natural por ambientes artificiales y esta acción genera diversos microclimas que pueden diferir de las zonas rurales, afectando potencialmente el uso de la energía, la movilidad y mortalidad humana. Para esto utiliza simulaciones en dinámica de fluidos computacional (CFD), permitiendo comprobar resultados, predecir temperaturas por cambios en la estructura de la plaza, estudiar resultados de varios escenarios, analizar su efecto en el microclima circundante y finalmente optimizar las alternativas de diseño urbano en la zona de Amberes.. (Toparlar, CFD simulation and validation of urban microclimate: A case study for Bergpolder Zuid, Rotterdam, 2014)

Un documento de vital importancia para esta investigación es la tesis doctoral denominada “*VER des de la Ciudad Potencial de habitabilidad térmica en espacios urbanos*”, realizada por la investigadora Cynthia Echave Martínez de la Universidad Politécnica de Cataluña, en febrero del 2007; y trata sobre la gestión eficiente de los espacios urbanos utilizados por las personas en la ciudad determinados por la compacidad, orientación, tipo de materiales y como punto fundamental la vegetación que influye directamente en el comportamiento térmico, determinado el potencial de habitabilidad de un calle o plaza en la ciudad creando un indicador que valore las condiciones de confort en varios escenarios existentes y alternativos. Para esto utiliza el método de cálculo realizado por Ochoa de la Torre (1999), mediante la aplicación de la herramienta informática de modelación denominada *RADTHERM*, desarrollada por el grupo Thermoanalytics de Michigan, que analiza varias capas de geometrías tridimensionales en formato (*cad. / dxf.*), analizando el intercambio de calor por conducción, convección y radiación en forma inmediata y precisa para obtener el balance de radiación de las personas. (Echave, 2007)

Para el evento *Hábitat III*, realizamos con la arquitecta Roció Proaño un estudio denominado: “*LA MARSICAL UN ESPACIO URBANO SOSTENIBLE*, que analiza los efectos denominados isla de calor urbana (ICU) en el sector de la Mariscal en la ciudad de Quito; esta experimentación se realizó capturando datos georreferenciados sobre humedad relativa y temperatura ambiental mediante el uso de un receptor (*HOBO UX100-003 TEMP/RH*) en un transepto o ruta definido, esta información se tabula y visualiza en planos de isotermas de temperatura evidenciando los incrementos y variaciones importantes; estas diferencias entre sectores están influidos por la densidad y compacidad edificada, el tráfico motorizado, la concentración peatonal, los materiales predominantes como el asfalto/vidrio y la vegetación que incrementa favorablemente el porcentaje de humedad y la superficie de sombra disminuyendo los niveles de radiación incidentes. (Ver anexos 3,4 y 5). En la actualidad existen muy pocas investigaciones y artículos que estudian los efectos de la isla de calor urbana en el Ecuador, pero sobre todo no existe información documentada sobre el análisis de indicadores que cuantifican el potencial de habitabilidad y confort térmico en la vías de la ciudad de Quito; por tal razón y considerando la importancia de estos efectos en la salud pública, es pertinente el desarrollo de esta investigación en beneficio de futuros estudios sobre indicadores de confort en nuestro país.

1.3 Herramientas de evaluación del confort urbano.-

1.3.1 Indicadores de Sostenibilidad Urbana.-

En las conferencias de Río en el año de 1992 y Hábitat II en Estambul en 1996, se expusieron conceptos sobre sostenibilidad en la gestión urbana, iniciativas como “La Agenda Local 21” resaltó la importancia de la naturaleza y el ambiente en la toma de decisiones prioritarias sobre temáticas políticas y económicas; para esto los indicadores vienen a ser herramientas conceptuales que permiten generar modelos de la condición urbana sobre parámetros cuantitativos y datos comparativos del estado de la ciudad. Internacionalmente existen iniciativas valiosas sobre indicadores como: *ONU-Hábitat*, *UN's Global Urban Observatory*, *Urban Indicators Guidelines*, y *el Global Urban Indicators Database*, sin embargo en Latinoamérica existen limitadas investigaciones aplicadas. Los “**sistemas de indicadores**” son instrumentos que muestran tendencias de ocupación, características particulares en la planificación de la ciudad evaluando las transformaciones y patrones de crecimiento de las nuevas zonas urbanas; además evidencian condiciones para dar seguimiento y proveer información al momento de tomar decisiones sobre la planificación territorial. Autores como José María Ferial definen a los indicadores como herramientas para expresar cuantitativamente y sintetizada una gran cantidad de información, debiendo ser comprensibles para todos a escala local y nacional (Ferial, 2000). La Universidad de Cuenca - Ecuador, y el laboratorio de investigación “*LlactaLAB Ciudades Sustentables*” en su publicación “*LA CIUDAD ES ESTO*”, *Medición y representación espacial para ciudades compactas y sustentables*”, adapta indicadores a las condiciones particulares de la ciudad de Cuenca; este documento expone la escasez de publicaciones en el ámbito nacional y sudamericano, y es pionero en el análisis de indicadores de sostenibilidad (Llactalab, 2015). En Iberoamérica son un referente las investigaciones realizadas por la (*Agencia de Ecología Urbana de Barcelona / BCNecología*), adaptando su enfoque para reorientar la gestión de las ciudades generando respuestas sobre varias temáticas urbanas, diagnostican problemáticas de la ciudad, cuantifican resultados y ofrecen apoyo en la investigación de las ciudades en España. (Barcelona, 2010)

La (*Agencia de Ecología Urbana de Barcelona* y la Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible) proponen un “Sistema de Indicadores y Condicionantes para Ciudades Medias y Grandes”; bajo estas condiciones se realizó el “Plan Especial de Indicadores de

Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla”; estos dos sistemas agrupan un total de 52 indicadores que se articula en siete grupos o ámbitos: 1. Ocupación del suelo, **2. Espacio público y Habitabilidad**, 3. Movilidad y Servicios, 4. Complejidad urbana, 5. Espacios verdes y Biodiversidad, 6. Metabolismo urbano y 7. Cohesión social; dentro del eje de compacidad y funcionalidad en donde se encuentra los grupos 1, 2 y 3, se analiza la realidad física existente del territorio además las posibles soluciones formales en adoptarse como la diferencia de usos de suelos, el porcentaje de área verde existente y la densidad de construcción edificada (ver Ilustración 5) (Barcelona, 2010) (Agencia d'Ecología Urbana de Barcelona).



Ilustración 5, sistema de indicadores y condicionantes, elaborado por: (Agencia d'Ecología Urbana de Barcelona)

Dentro del *AMBITO 02. ESPACIO PÚBLICO Y HABITABILIDAD*, *Subámbito: HABITABILIDAD DEL ESPACIO PÚBLICO*, se presenta el Indicador de Confort Térmico (Ctérnico). El objetivo principal de este indicador es reconocer el potencial de confort que tiene un espacio público considerando sus condiciones climáticas, materiales, vegetación y morfología urbana en número de horas de confort diarias y señala que: *“Para alcanzar la obstrucción necesaria en el espacio público y conseguir un potencial mínimo del 50% de horas útiles de confort al día, se evalúa la proyección vertical de las sombras arrojadas por el arbolado.”*

El potencial de horas de confort indica el número de horas en las que una persona está en un balance de energía entre -50 W/m^2 y 50 W/m^2 , y entre las 8h y las 22h del día, consideradas las horas de mayor circulación. Es necesario que el arbolado urbano pueda

obstruir un (30%) de radiación solar recibida: la fórmula de cálculo para este indicador es: “la superficie obstruida (sombras arrojadas por el arbolado) (m²) / superficie total viario público (m²) * 100”. (Barcelona, 2010)

Parámetros Resultados Balance de Confort	
Mucho calor	>150W/m ²
Preferible más fresco	50 – 150W/m ²
Confort	-50 – 50 W/m ²
Preferible más cálido	-50 a -150W/m ²
Mucho frío	<150W/m ²

Ilustración 6, Balance de confort, (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona - Sevilla, 2008)

Mediante un software de simulación y cálculo de elementos finitos, se puede obtener el balance de confort de todas las horas útiles del día, esta herramienta realiza cálculos dinámicos entre todos los elementos de un espacio urbano obteniendo la cantidad de radiación (onda corta y onda larga) incidente en una persona, también los niveles de obstrucción de la radiación solar directa que emite en sol incidente en la superficie, además de las emisiones nocturnas. Hay que considerar que la radiación solar incidente en las vías asfaltadas, constituye uno de los grandes factores que incrementa la temperatura radiante (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona - Sevilla, 2008)

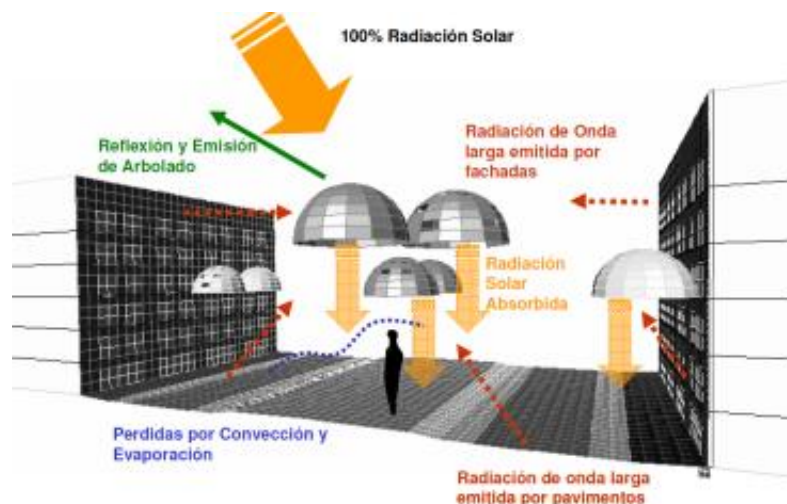
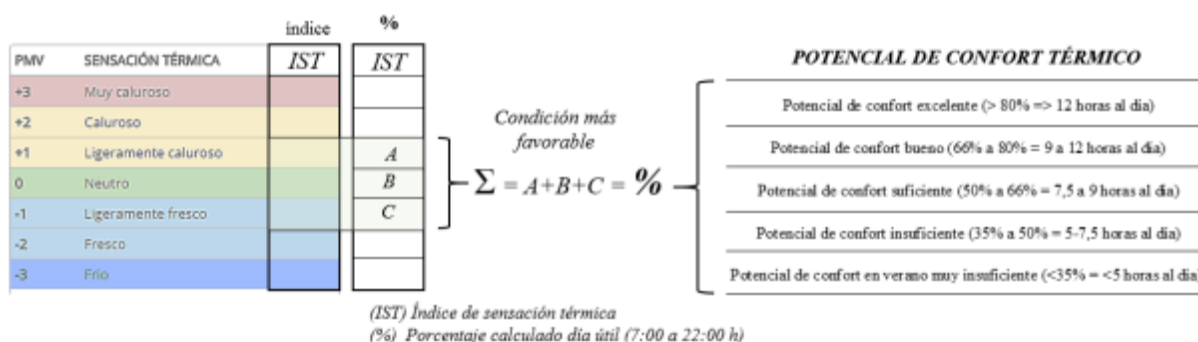


Ilustración 7, Radiación Solar, y elementos que actúan en la modelación, (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona - Sevilla, 2008)

Con los resultados obtenidos del **indicador de confort térmico**, se puede determinar la superficie de arborización óptima (sombra por vegetación) para mejorar las condiciones de

confort en el espacio público. Dentro de este “*Sistema de Indicadores y condicionantes para ciudades grandes y medianas*” analiza el confort térmico y clasifica el potencial de confort de una vía en cinco categorías; estos resultados son producto de la sumatoria de los *índices de sensación térmica (IST) ligeramente fresco / neutro / ligeramente caluroso* por cada día útil o escenario analizado en el software de simulación. Estos tres valores representan las condiciones más favorables dentro del confort térmico en la vía pública permitiendo categorizar en cinco estados: *excelente, bueno, suficiente, insuficiente y muy insuficiente*.

Tabla 1, potencial de confort térmico por categorías (Barcelona, 2010), fuente: elaboración propia



La sumatoria de las sensaciones térmicas porcentuales (*ligeramente caluroso, neutro y ligeramente fresco*) están dentro de una condición aceptable para el ser humano permitiendo categorizar el potencial de habitabilidad térmica de una vía pública; esta estrategia se deriva de un estudio realizado por *Spagnolo y Dear* (2003) que analizaron la votación de 1018 individuos sobre las zonas de confort en equilibrio o zonas neutras concluyendo con los resultados que en los espacios exteriores para la mayor parte de los encuestados las mejores condiciones de confort son en un rango ligeramente caluroso del establecido como neutro (Echave, 2007).

En la Ciudad de Vitoria Gasteiz (España) se utilizó esta herramienta cumpliendo satisfactoriamente con los parámetros mínimos establecidos por el indicador, esto indica que la presencia de vegetación en la configuración urbana y el clima de verano ofrecen un alto potencial de horas de confort durante el día útil. Este invierno se disminuye considerablemente el potencial de confort por las bajas temperaturas. Los barrios de tipología tejido central se destacan en obtener el potencial de confort por debajo del mínimo necesario, las otras tipologías con niveles suficientemente confortables oscilan entre 47% y un 97%. En cambio en barrios de tejido medio, el porcentaje oscila entre 54% y 88% y en sectores

residenciales va desde 47% hasta un 92%. La orientación predominante es de EW o SW-NE siendo determinante para la cantidad de radiación absorbida en el día.

Tabla 2, categorías potencial de confort (España), fuente: (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2009)

Potencial de confort en verano excelente:	> 80% = >12 horas al día.
Potencial de confort en verano bueno:	66% a 80% = 9 a 12 horas al día.
Potencial de confort en verano suficiente:	50% a 66% = 7,5 a 9 horas al día.
Potencial de confort en verano insuficiente:	35% a 50% = 5 a 7,5 horas al día.
Potencial de confort en verano muy insuficiente:	< 35% = <5 horas al día

1.3.2 Software de Modelación Microclimática Holística, ENVI_MET 4.2.

Uno de los programas más utilizados para la modelación microclimática es el software ENVI_MET V 4.2 esta herramienta simula los microclimas urbanos e incorporar todos los elementos que interactúan en el ambiente físico. Este software es desarrollado por el investigador Michael Bruse y su equipo de la Universidad Johannes Gutenberg-Universität Mainz de Alemania, utilizando un enfoque holístico analizando todos factores incidentes de pronóstico micro-climático en una sola modelación en alta resolución. Este programa modela y pronostica los microclimas basándose en las leyes fundamentales de la termodinámica, los principios de la dinámica de fluidos, la física atmosférica, la dispersión de contaminantes, la simulación de turbulencia alrededor de los edificios y los procesos de intercambio de calor entre la superficie del suelo, las paredes, la vegetación y su impacto con los seres humanos. Además el usuario puede simular microclimas urbanos compuesto por cientos de subsistemas dinámicos, que van desde la atmósfera dinámica, la física e hidrología del suelo, la vegetación y el interior de las edificaciones produciendo datos con una alta resolución ya sea un edificio entre 500 elementos, o un árbol entre 1500 objetos modelados. El programa puede evaluar y cuantificar en forma tridimensional las interrelaciones del microclima urbano (superficie – planta – aire) en varios módulos de simulación, produciendo resultados en una resolución de hasta 0,5m en el espacio modelado y de 1 a 5 segundos en la definición del tiempo. Este software es utilizado en arquitectura, paisajismo, diseño de edificios, planificación urbana – ambiental y por investigadores de física urbana, etc. (ENVI-met, 2017)

Este software genera una enorme cantidad de datos distintos sobre el sistema ambiental analizado, es imposible evaluar toda la información en conjunto; los resultados de

este modelo (ENVI_met) no puede ser comparados o validados con datos de la realidad climática de la ciudad debido a que la medición holística (múltiples interacciones) del mundo real tiene muchas incertidumbres con el resultado modelado (Simon, 2016). Las mediciones mediante dispositivos en sitio pueden variar significativamente si comparamos con nuevas mediciones realizadas pocos minutos después, por esto, la validación del modelo puede ser posible comparando un conjunto limitado de variables pero no en el sistema micro climático real (Simon, 2016). La calidad y exactitud de los resultados dependen en gran medida de los datos de entrada, sin embargo, los creadores del software recomiendan que se utilice las configuraciones predeterminadas. (Bruse, 2017)

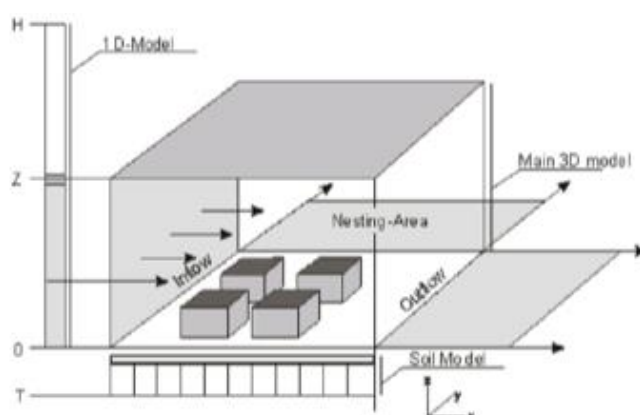


Ilustración 8, funcionamiento modelo ENVI-met, (Simon, 2016)

El software tiene una resolución de 50cm a 10m, interacción de 10 segundos en las ecuaciones de Navier-Stokes (ENVI-met, 2017). El modelo CFD (Computational Fluid Dynamics), dentro del espacio de construcción utiliza las radiaciones de onda calculando los efectos térmicos producidos por la vegetación y su sombra, analiza la absorción de humedad y la emisión de energía hacia la atmósfera; también reproduce las condiciones de los componentes volátiles y la calidad de aire que son factores determinantes en las modificaciones del diseño urbano (Acero, 2016). El software ENVI_MET 4.2 procesa en forma holística (múltiples interacciones) los siguientes parámetros más representativos los cuales son utilizados para esta investigación, son los siguientes:

- Analiza los flujos de radiación de onda corta y larga producidos por las zonas de sombra, la vegetación y la reflexión de las edificaciones.
- Procesa la transpiración, evaporación y flujo de calor sensible producidos por la vegetación, además de los parámetros físicos producidos por la fotosíntesis.

- Calcula en forma dinámica la temperatura superficial de los elementos construidos analizando su masa térmica.
- Procesa el intercambio hídrico con el calor en el suelo, incluyendo la absorción de la vegetación.
- Produce una representación tridimensional de la vegetación, procesando el balance hídrico dinámicamente por cada especie natural.
- Analiza la dispersión de gases y partículas incluyendo la sedimentación de hojas (arborización del modelo), gases inertes y gases reactivos (ciclo de reacción NO-NO₂-Ozono)

Mediante la aplicación BIOMET, se calcula los índices internacionales térmicos de confort: **PMV/PPD** (*Predicted mean vote - adaptado para condiciones exteriores*), **PET** (*Physiological Equivalent Temperature*), el **UTCI** (*Universal Thermal Climate Index*) y el **SET** (*Standard Effective Temperature*). (ENVI-met, 2017)

Para cumplir el objetivo de esta investigación se utiliza el software de modelación ENVI_met para validar el indicador de confort térmico en Quito, evaluar el potencial de confort que tiene una vía en el espacio público, construir varios escenarios de modelación, generar los resultados concluyentes y exportar datos para calcular en forma dinámica el (*PMV-predicted mean vote / Voto medio estimado*) y el (*PPD- predicted percentage dissatisfied / porcentaje de personas insatisfechas*); este índice se fundamenta en el método de Fanger 1972 y de la norma internacional ISO 7730 que se describe a continuación:

1.3.3 Método de Fanger, “Thermal Confort” año 1970.-

La investigación del confort térmico en un principio se utilizó para el desarrollo de los sistemas de aire acondicionado en edificios, uno de los pioneros fue Yaglou quien en el año 1923 incorporó el concepto de "temperatura efectiva", posteriormente otros investigadores fueron añadiendo varios índices de evaluación del confort pero no todos consideraban las variables como el calor radiante y la intensidad del trabajo; en el año 1970, P.O. Fanger expuso su obra "*Thermal Confort*" representando un avance importante ya que incorporó todas las variables que influyen en el intercambio térmico entre el ambiente, los seres humanos y la sensación de confort y son: "*nivel de actividad, características del vestido, temperatura seca, humedad relativa, temperatura radiante media y velocidad del aire*" (Fanger, 1972). Aplicando este método se obtiene el *Voto medio estimado (PMV-predicted*

mean vote) y el porcentaje de personas insatisfechas (*PPD- predicted percentage dissatisfied*) de un espacio definido estacionario.

Para considerar que una situación determinada en el espacio público se encuentra en condiciones de confort, los mecanismos fisiológicos del cuerpo humano deben estar termoregulados dentro de un equilibrio térmico, entre las ganancias calóricas (recibidas por el entorno) y las pérdidas producidas por el cuerpo.

La ecuación paramétrica de Fanger tiene sucesiva iteración, por tal razón, para obtener las variables del *PVM* y *PPD* es necesario utilizar una matriz de cálculo, tablas normalizadas en la norma ISO 7730 de confort térmico o un software de modelación. A continuación se exponen las ecuaciones de confort de Fanger (*PMV Y PPD*):

— Las variables corresponden a:

- M es la tasa metabólica en W/m^2
- W es la potencia mecánica efectiva en W/m^2 (puede estimarse en 0)
- I_{cl} es el aislamiento de la ropa en m^2K/W
- f_{cl} es el factor de superficie de la ropa
- t_a es la temperatura del aire en $^{\circ}C$
- t_r es la temperatura radiante media en $^{\circ}C$
- v_{ar} es la velocidad relativa del aire en m/s
- p_a es la presión parcial del vapor de agua en pascales

$$p_a = RH/100 \cdot \exp(16.6536 - 4030.183 / (t_a + 235))$$

Donde: RH es la humedad relativa del aire medida en porcentaje

- h_c es el coeficiente de transmisión del calor por convección en $W/(m^2K)$
- t_{cl} es la temperatura de la superficie de la ropa en $^{\circ}C$

$$PMV = [0.303 \cdot e^{-0.036M} + 0.028] \cdot \{(M - V) - 3.05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6.99 \cdot (M - V) - p_a] - 0.42[(M - V) - 58.15] \cdot 1.7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0.0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3.96 \cdot 10^{-11} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\}$$

En la que:

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028 \cdot (M - V) - t_{cl} \{3.96 \cdot 10^{-11} \cdot f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\}$$

$$h_{cl} = \begin{cases} 2.38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0.25} & \text{si } 2.38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0.25} > 12.1 \sqrt{v_{ar}} \\ 12.1 \sqrt{v_{ar}} & \text{si } 2.38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0.25} < 12.1 \sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290 \cdot I_{cl} & \text{si } I_{cl} \leq 0.078 \frac{m^2}{W} \\ 1.05 + 0.645 \cdot I_{cl} & \text{si } I_{cl} > 0.078 \frac{m^2}{W} \end{cases}$$

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-0.03353 \cdot PMV^2 - 0.2179 \cdot PMV^2}$$

Ilustración 9, ecuación de confort de Fanger (PMV – PPD), (Mas, 2015)

1.4 CONCLUSION.-

De lo enunciado concluimos que el estudio del confort en las ciudades es clave para entender cómo la ciudad debe enfrentar los cambios climático y proponer soluciones para generar ciudades más resilientes y seguras para sus habitantes. También nos permite decir que en el Ecuador y particularmente en Quito no se han realizado estudios de confort urbano a través de herramientas de simulación y que es necesario hacerlo, por otro lado los avances tecnológicos y científicos nos demuestran que es posible evaluar el confort urbano.

El uso de indicadores de confort urbanos representa herramientas que pueden ayudar a establecer las características termodinámicas de un espacio público aportando en la visión de

la problemática de estos espacios frente al cambio climático y la sobre exposición de las personas a varios agentes como los rayos ultravioletas como en el caso de Quito. Considerando la importancia de comprender el funcionamiento de los espacios públicos abiertos como son las calles, principalmente utilizadas priorizando el uso peatonal sobre el vehicular , se debe analizar sus problemáticas actuales y sus posibles mejoras; las intervenciones pueden ser evaluadas mediante herramientas de simulación como las presentadas estableciendo estrategias de mejora que optimizan la eficacia de las intervenciones. Este estudio nos permite mostrar que es posible evaluar el confort urbano en la calle y que lo podemos realizar en los casos de estudio propuestos.

2 CAPITULO: METODOLOGÍA

La presente metodología tiene como objetivo establecer los pasos necesarios para evaluar indicadores de confort a nivel de la calle mediante siete etapas que se describen a continuación:

2.1 Levantamiento de información del caso de estudio.-

Como paso inicial, realizamos una investigación respecto a los antecedentes históricos, las características morfológicas de las construcciones existentes y los materiales cómo están constituidas las edificaciones y la calle considerando sus propiedades físicas y térmicas.

En estas temáticas, recopilamos información gráfica, planimétrica, topográfica, fotogrametría aérea, fotografías de todos los elementos arquitectónicos y naturales (árboles y vegetación baja) que constituyen el caso de estudio; en sectores con valor patrimonial, de ser el caso, es necesario investigar documentación históricas de las edificaciones próximas a la vía y caracterizar sus condiciones estructurales.

Después de analizar los materiales y considerado los niveles altos de radiación incidente en nuestra latitud ecuatorial debemos determinar el porcentaje de albedo (*radiación reflejada en comparación con la que recibe*) de cada material, el cual es un factor determinante en los procesos analíticos de software ENVI_met al momento de la simulación, sin embargo, la gran mayoría de materiales en el software utilizan estos factores predeterminados.

2.2 Modelización y simulación.-

Este capítulo se encuentra definido dentro de los siguientes subtemas: definición geográfica y climatológica, caracterización de componentes y materiales y caracterización de la vegetación.

Utilizamos la herramienta (*Manage workspace – ENVI_met*) para configurar el espacio de trabajo y las carpetas con la información de archivos atmosféricos por cada caso de estudio, además, se produce una gran cantidad de archivos que interactúan entre en ambiente local y el microclima exterior. Este sistema interactivo consiste en decenas de

subsistemas, que estudian la dinámica atmosférica, el suelo y su constitución física, la vegetación y su impacto térmico.

Todas las variables se modelan en un espacio determinado (barrio, sector, calle) permitiendo interactuar a todas las variables físicas y dinámicas del mundo real. Para iniciar la configuración de los casos de estudio, realizamos las siguientes acciones en el computador utilizando la herramienta (*Workspace*):

- Esta herramienta permite organizar los casos de estudio en varios escenarios construyendo modelos en varios espacios de trabajo clasificándolos en subcarpetas.
- La herramienta (*Workspace*) en la ventana (*Manage Workspace*), configurar el nombre de la base de datos del proyecto, el nombre del proyecto, la descripción del proyecto, permitiendo definir si se utiliza la base de datos global instalada o una nueva base construida por el usuario.
- La herramienta (*Change workspace*) valida la información para que la carpeta se encuentra operativa. Al crear un nuevo proyecto en una carpeta (*Create new Project*) está contendrá todos los archivos de simulación atmosféricos generados por el software.

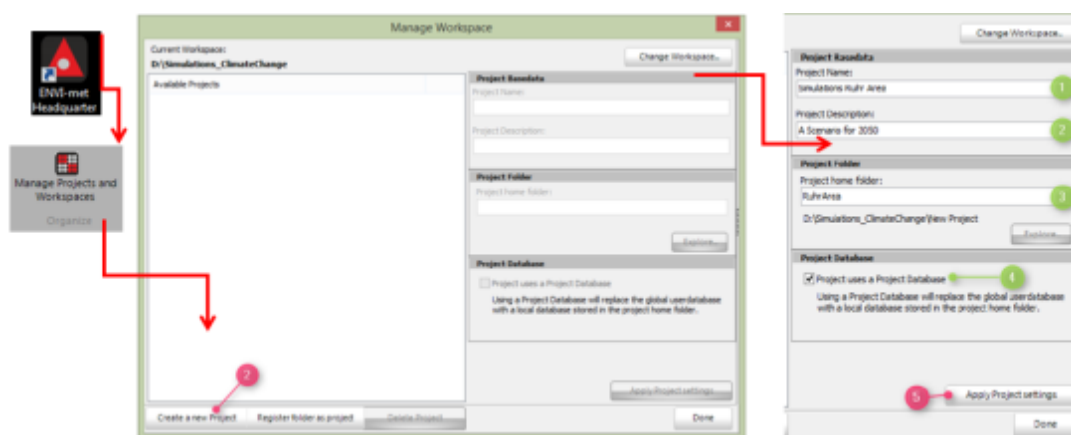


Ilustración 10, Manage Workspace, ENVI_met, fuente: (Bruse, 2017)

La construcción de los modelos de simulación por cada caso se realiza utilizando la herramienta (*SPACE- ENVI_met*); y funciona utilizando como base un plano de las calles en formato (*.bmp - bitmap) determinando la escala de trabajo y la grilla que permite graficar los casos de estudio en el software; pudiendo ser una cuadra (ejemplo: 150m x 150m x 30m), varias manzanas de una calle (ejemplo: 150m x 600m x 30m) o un sector / barrio determinado en (1600m x 1600m x 30m); esto configura la densidad y complejidad de los elementos en la modelación. En el caso que definimos únicamente una calle podríamos graficar detalles

como: tipo de cubierta inclinada, muros, cerramientos, aceras, calzada, vegetación baja y zonas permeables; sin embargo, si vamos hacer una modelación a nivel barrial o sectorial únicamente llegaremos a graficar vías, bloques de edificios y árboles de gran escala.

A continuación, definimos la situación geográfica (longitud, latitud y altitud) y la información meteorológica del sitio por cada caso de estudio, la cual, para esta investigación se obtiene de los anuarios meteorológicos del *INAMHI* y del fichero climático de la estación meteorológica (*ECU_Quito.840710_IWEC, INTERNATIONAL WEATHER FOR ENERGY CALCULATIONS, (IWEC WEATHER FILES)*) integrado en el software Climate Consult (*CLIMATE CONSULTANT, 2014*).

La herramienta (*ALBERO - ENVI_met*), permite crear y modificar la geometría de plantas o árboles de la base de datos del programa. La vegetación se representa en el modelo como un grupo de células definidas con densidad foliar y con raíces; aparte de los efectos que producen las hojas en el viento y la radiación, estas utilizan mecanismos biológicos que regulan el CO₂ y el vapor de agua en los microclimas. La vegetación equilibra la asimilación de CO₂ para incrementar las ganancias de carbono y minimizar las pérdidas de humedad. El cálculo acoplado de asimilación, la tasa de fotosíntesis, la respiración, el vapor de agua en la hoja, la temperatura superficial de la hoja y la radiación foto-activa se basan en el modelo de la conductancia estomática de la hoja (Jacob, 1994). El software simula la vegetación de dos maneras: por su morfología y estructura: vegetación baja (parterre, arbustos, hierba, setos, maíz y plantas) definidos como estructuras simples, y arboles representados por grupos de células (*LAD - Leaf Area Density / densidad de Área Foliar m²/m³*) permitiendo graficar estructuras porosas en forma bidimensional y tridimensional. El modelo de vegetación considera la captación y deposición de gases y partículas pero también los flujos de viento y su dispersión en el entorno (Simon, 2016).

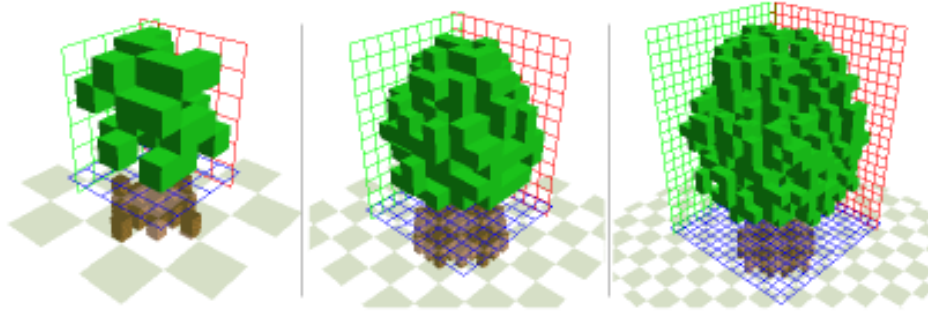


Ilustración 11, 3 diferentes geometrías, definición de escala de cálculo del árbol, fuente: ALBERO, (Simon, 2016)

Cada material asignado a un elemento de la simulación, sea este pared, edificio o cubierta, puede ser configurado en tres capas distintas con propiedades físicas individuales (transmisión de radiación solar, conductividad térmica y capacidad calórica). El software calcula en forma continua el balance energético de los elementos exteriores, las variaciones en la radiación reflejada de otros elementos cercanos y los cambios en las variables meteorológicas. El administrador de bases de datos del software ENVI_met (*Manage Database*), permite crear materiales personalizados para ser integrados en las paredes, pisos y techos del modelo de simulación (Bruse, 2017).

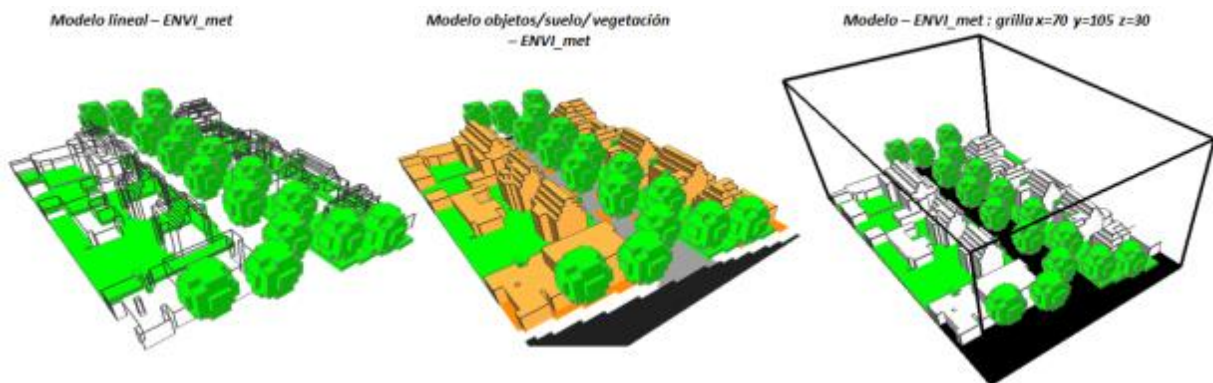


Ilustración 12, modelo construido SPACE – ENVI_met, fuente: (Bruse, 2017)

La herramienta (ConfigWizard – ENVI_met) configurar variables individuales de los archivos de salida como son: el día específico y lapso de tiempo de la simulación, la carpeta de archivos de trabajo, datos meteorológicos (temperatura y humedad relativa en forma horaria) / (radiación solar, nubes / octavas), modelo de turbulencia, bordes de la modelación, tiempo de análisis de la modelación, suelo y plantas, polución dispersa y programación de

aplicaciones (modo expertos). Los tutoriales del programa recomiendan configurar los datos en (default) o predefinidos por el software, debido a la sensibilidad de algunos cálculos y la inestabilidad que puedan generar al modelo construido. Los datos ingresados en los dos casos de estudio son los siguientes:

- *Time and Date, Output.*- Permite definir la duración de la simulación en horas o días determinado el (inicio y duración al correr la simulación):
Start date (DD.MM.YYYY : 02.08.2016, Star time (HH:MM:SS): 06:00:00, Total simulation time (horas): 16 horas, Output settings: Intervalos para los archivos: Receptores and bouldings (min): 120 minutos, y en todos los archivos: 60 minutos
- *Meteorology: Basic setting.*- Determina el marco meteorológico básico para la simulación: *velocidad del viento en 10m de altura (m/s): 2, dirección del viento: -45 (0°=desde el norte - 180° desde el sur), rugosidad: 0.01, temperatura de la atmosfera (C°): 15 (default), humedad especifica al modelo sobre 2500m g/kg): 7.0, humedad relativa en 2m (%).*
- *Meteorology: Simple Forcing (forzamiento simple).*- Permite cambiar dinámicamente los datos meteorológico de la temperatura y la humedad relativa en forma horaria, en un ciclo de 24 horas.
- *Meteorology: futher setting.*- Permite configurar el marco meteorológico de la modelación con los siguientes parámetros: *solar radiation: (default), clouds: turbulencia models: 5,0, lateral boundary conditions (LBC): (default values).*
- *Model timing.*- Realiza diferentes ajustes de temporización para procesos que se calculan para cada modelo de tiempo. No debe utilizar intervalos mayores a los valores predeterminados por el programa. *DINAMIC TIME STEP MANAGMENT: time step t0 (s): 2, time step t1 (s): 2, time step t2(s): 1, solar angle t0-t1 (deg.) 40, solar angle t1-t2 (deg.) 50. UPDATE TIMING: Plant processes: 600 s, surface data: 30 s, radiation shadow: 600 s, flow ffield: 900 s.*

A continuación utilizamos los archivos atmosféricos generados por el software mediante la aplicación de la (*Biomet – ENVI_met*) obteniendo los índices de confort exterior (**PMV Y PPD**, (*PMV-predicted mean vote*) voto medio estimado y (*PPD-predicted percentage dissatisfied*) porcentaje de personas insatisfechas. La herramienta (*Biomet – ENVI_met*) dentro de la licencia profesional, utiliza los archivos generados por la simulación y calcular algunos índices internacionales como son:

- **Índice PMV Y PPD**, (*PMV-predicted mean vote*) voto medio estimado y (*PPD-predicted percentage dissatisfied*) porcentaje de personas insatisfechas, basada en el modelo de Fanger (1972) actualmente en la ISO 7730 relacionada al balance de energía del cuerpo humano, la sensación personal expuestas a climas específicos. Además, considera la vestimenta y la actividad metabólica del individuo.
- **Valor PET**, (*Physiological equivalent temperature*),
- **Valor UTCI**, (*Universal Thermal Climate Index*),
- **Valor SET**, se calcula el SET, en base a la norma ASHRAE Standard 55-2013,

ENVI_met utiliza un método empírico que relaciona la sensación térmica con el equilibrio energético y el tipo de vestimenta (*clo*). El índice *PMV* se lo considera un valor estacionario similar a los otros índices mencionados, esto limita a solo a las personas que no se mueven en el espacio público. La herramienta *BIO_met* analiza el *PMV* con una relación (lineal) y directamente proporcional al *PPD*; este índice es calculado en la herramienta *BIO_met* ingresando los siguientes parámetros generales:

- Parámetro humano, edad de la persona: 35 años, genero: Masculino, peso: 75 kg, altura 1.75m.
- Vestimenta: (*static clothing insulation - clo*): 0.90.
- Metabolismo humano: rango basal 84.49W, metabolismo de trabajo: 80.0W, velocidad al caminar: 1.21m/s y el metabolismo de trabajo acumulado 164.49W.
- El rango vertical de cálculo: la definimos en esta investigación con la opción (*calculate everywhere*), debido a que podemos realizar el análisis de gráficos de los plano x-z o en y-z y observar efectos térmicos en varios niveles.

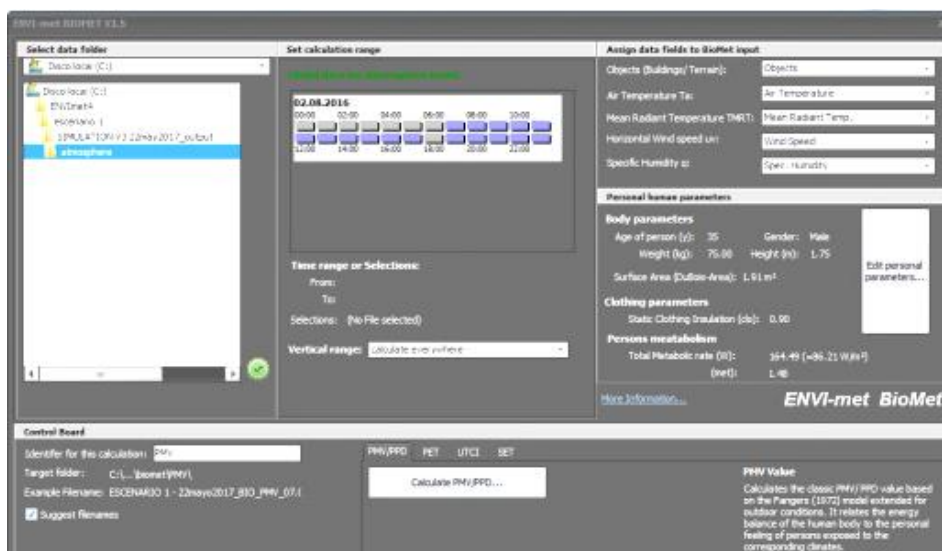


Ilustración 13, ventana del programa ENVI_met BIOMET V1.5, fuente: (Bruse, 2017)

Como último paso de la modelación se utiliza la herramienta (*LEONARDO – ENVI_met*) y permite graficar diagramas de alta resolución a partir de los datos fuentes generados por el programa. Esta interfaz visualiza los mapas mediante scripts, configurando variables previamente predefinidas por el usuario en 2 y 3 dimensiones como son: temperatura (C°), humedad relativa (%), humedad específica (%), velocidad del viento (m/s), turbulencia, presión y perturbación (diff), radiación directa (w/m2) y difusa, temperatura radiante (C°), disipación (m3/m3), vegetación LAD (m2/m3), flujo de vapor (g/kg*m/s), disipación normalizada, resistencia estomática de los cultivos (s/m), CO2 (mg/m3), flujo CO2 de las pantas (mg/m2s), índice *PMV* y *PPD*, número de edificaciones, etc.; permitiendo crear diagramas, utilizando el motor GNUPlot mediante línea de comandos (script) para Windows visualizando funciones matemáticas y datos en forma interactiva (GNUPLOT, 2015). Esta herramienta permite visualizar por segmento de tiempo y en forma independiente cada una de las modelaciones.

Para los casos de estudio 1 y 2, la herramienta *Leonardo* permite cargar los archivos de simulación generados por la aplicación BIOMET definiendo dentro del navegador las variables: PMV, PPD (%), T cloths (C°), velocidad del viento (m/s), temperatura del aire (C°), temperatura radiante (C°) y humedad específica (g/kg) (Bruse, 2017).

Al utilizar la herramienta *LEONARDO*, abrimos el navegador de datos (*Data Navigator*), cargamos el archivos de metadatos generados por la herramienta *BIOMET* en formato ASCII EDT/EDX, visualizando los resultados por cada hora seleccionada.

Considerando los objetivos de la investigación, dentro del navegador de datos definimos el tipo de variable (*DATA*) (**PMV** y **PPD**) generando mapas o (histograma) en dos dimensiones (2D); este gráfico muestra información básica y la leyenda con rangos de índice (**PMV**); utilizando el comando (*MapControl*) podemos editar las descripciones generales, capas de información, capas especiales, leyendas, vectores y partículas, edición del contorno y símbolos. Este modelo gráfico en la vista de plano, también puede ser visualizado en coordenadas (x-y), (x-z) y (y-z) con una dimensión predefinida desde la vista de plano seleccionada dependiente de los análisis que se necesiten obtener (ver Ilustración 14).

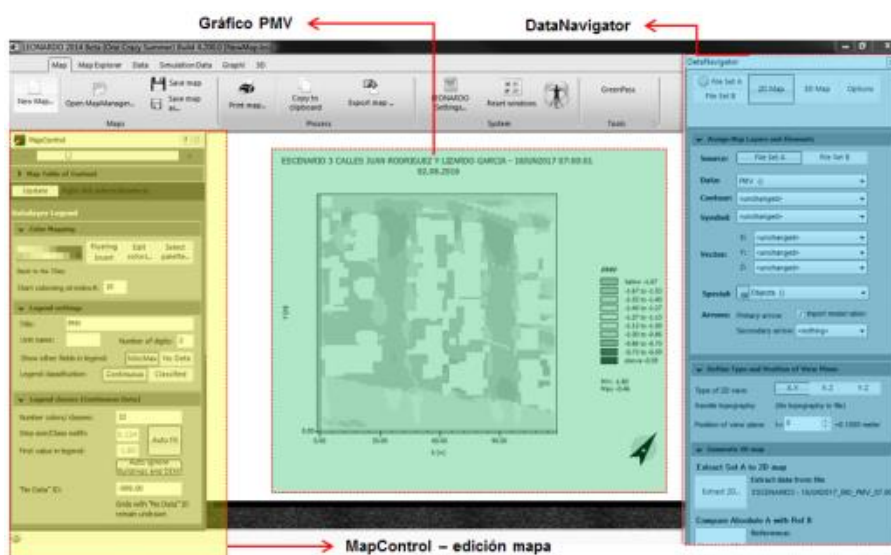


Ilustración 14, programa LEONARDO – ENVI_met, herramientas, fuente: propia

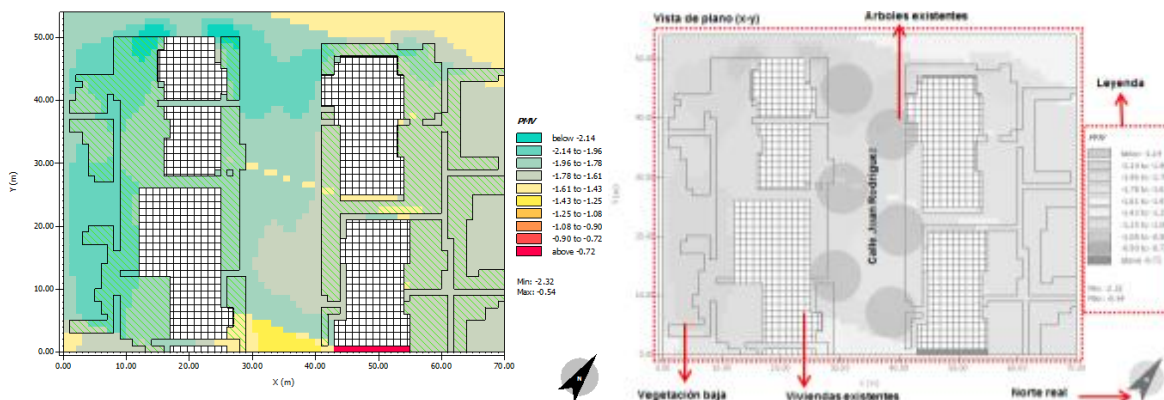


Ilustración 15, LEONARDO – ENVI_met, CASO 1, escenario 1, calle Juan Rodríguez, análisis del PMV, PLANO (X-Y), hora: 7:00, fuente: (Bruse, 2017)

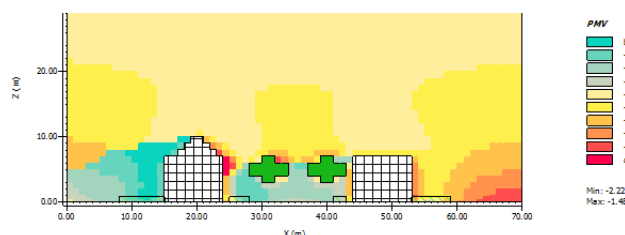


Ilustración 16, LEONARDO – ENVI_met, CASO 1, escenario 1, calle Juan Rodríguez, análisis del PMV, PLANO (Y-Z), hora: 7:00, fuente: (Bruse, 2017)

La herramienta *Leonardo* permite extraer valores (PMV/PPD) únicamente de la vía pública y obtener un histograma gráfico que muestra la ocurrencia de datos dentro de la escala sensación térmica (PMV) exclusivamente en el sector seleccionado; finalmente, al analizar estos datos por cada hora del día útil, desde las 7:00 hasta las 22:00h, obtendremos el potencial de confort (%) que tiene la vía analizada en un día (ver Ilustración 17). Este histograma puede ser graficado con datos unitarios de ocurrencias (*Count (n)*) o datos fraccionarios (*Fraction %*). El siguiente paso consiste en exportar los datos de ocurrencias generados del histograma en formato (*TXT.*) delimitados por tabulación para poder exportarlos al programa Microsoft Excel unificando valores totales horarios de las tablas por cada hora del día: finalmente se pueden generar los resultados en un gráfico circular (pastel) o en barras de resumen de datos PMV y PPD.

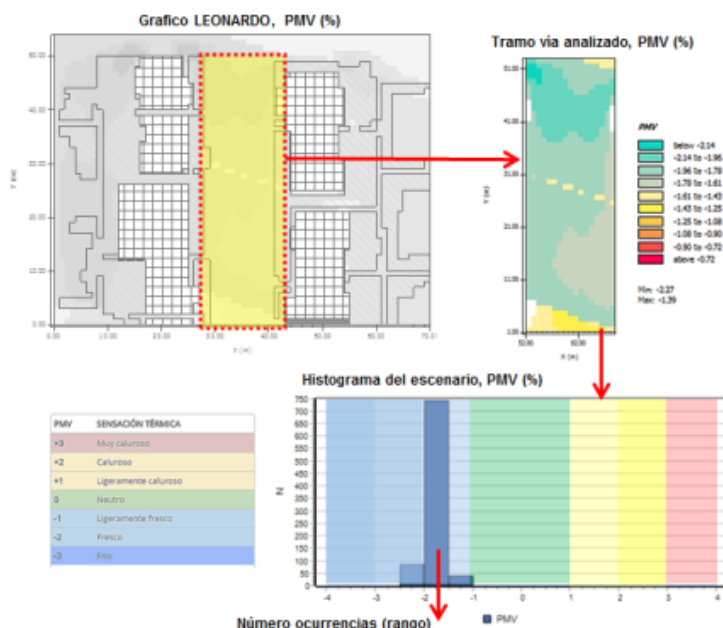


Ilustración 17, Grafico PMV software LEONARDO-ENVI_met, tramo de vía analizado, histograma del escenario, fuente: elaboración propia, gráficos (Bruse, 2017)

2.3 Análisis del estado actual.-

Después de obtenidos los datos procesados por el software ENVI_met respecto a los índices PMV y PPD calculados por la herramienta (*Biomet*), analizamos los resultados por cada escenarios agrupando los datos en tablas y gráficos de barras comparativas; esto permite identificar el número de ocurrencias en cada rango de clase (PMV y PPD) por cada hora del día, el potencial de confort de cada calle (en porcentaje %) y el número de horas útiles conforme los índices de sensación térmica (*frio, fresco, ligeramente fresco, neutro, ligeramente calurosos, calurosos y muy caluroso*). Con los resultados podemos ubicar cada escenario dentro de las categorías de confort térmico determinadas por (Agencia d'Ecología Urbana de Barcelona) para el indicador de confort térmico y son: (*excelente, bueno, suficiente, insuficiente y muy insuficiente*).

2.4 Generación de escenarios mejorados.-

En base al índice de confort térmico obtenido por cada escenario cuando existen condiciones desfavorables en alguna simulación, procedemos a realizar una matriz de evaluación de criterios que permitan seleccionar cuáles estrategias arquitectónicas pueden ser incorporadas beneficiando las condiciones de confort en los casos de estudio; los criterios utilizados son: *viabilidad, costo económico, tiempo de ejecución, influencia en el entorno y potencial de confort esperado*. En la matriz, cada criterio tiene un puntaje unitario de calificación y la sumatoria de valores determinan las estrategias mejores puntuadas.

Los criterios planteados en la matriz corresponden con necesidades y lineamientos específicos de la ciudad de Quito, pudiendo variar según el objeto de estudio, su escala de análisis, la climatología, la densidad poblacional, etc. Sucesivamente se implementan las estrategias en el nuevo escenario modificado mediante la herramienta (*SPACE – ENVI_met*) y finalmente se corre la nueva modelación para obtener los nuevos resultados.

2.5 Comparaciones entre escenarios (estado actual y propuesta de mejora).-

La comparación de los escenarios permite observar si los resultados del potencial de confort han sufrido cambios limitados, son favorables, si existen incrementos en las horas útiles de confort o si se han disminuido las horas con índices de sensación térmica *calurosos* o *fríos*. En el modelo ENVI_met, debemos tener cuidado al introducir elementos como: ríos, lagos, lagunas o espejos de agua, ya que estos elementos aportan un gran porcentaje de humedad al ambiente y pueden generar perturbación importantes en los resultados.

Si las estrategias implantadas no fueron determinantes para mejorar el potencial podemos utilizar otras estrategias de la matriz que no tuvieron una alta valoración, prefiriendo las que tienen un costo económico más bajo o tienen una complejidad menor en la ejecución constructiva.

De los resultados obtenidos en los escenarios mejorados se deben realizar cuadros comparativos entre escenarios y por cada época del año analizar en la modelación (cálido o frío) estas comparaciones pueden determinar cambios y condiciones favorables de mejora o también alteraciones mínimas en los datos resultantes. Es recomendable realizar simulaciones por cada estrategia seleccionada para determinar el porcentaje individual de confort, sin embargo por el tiempo de cálculo del software se van a utilizar todas las estrategias seleccionadas de la matriz en una sola modelación definida como “propuesta de mejora”.

2.6 Conclusiones y Recomendaciones.-

El uso del software de modelación es práctico al momento de evaluar la sensación térmica percibida por lo habitantes en varios escenarios, permitiendo concluir y tomar decisiones efectivas sin que estas estrategias ya sean implementadas en un contexto urbano real: también determina zonas prioritarias de intervención en las que es necesaria una investigación más detallada considerando las estrategias planteadas. Dentro de las recomendaciones es necesario realizar nuevos estudios sobre los indicadores de confort térmico en climas más extremos (frío extremo – caliente extremo) que permitan identificar variaciones más amplias y escenarios con niveles mínimos de confort donde las estrategias de mejora son determinantes y pueden llegar a ser más efectivas.

En este estudio la herramienta BIOMET aplica la normativa ISO: 7730 de confort térmico, la cual aplica los índices (*PMV-predicted mean vote*) voto medio estimado y (*PPD-predicted percentage dissatisfied*) porcentaje de personas insatisfechas, determinando niveles de confort de la calle en espacios exteriores, el software ENVI_met en la licencia completa profesional puede calcular con la herramienta BIOMET otros índices internacionales de confort como son: **PET** (*Physiological Equivalent Temperatura*), el **UTCI** (*Universal Thermal Climate Index*) y el **SET** (*Standard Efectiva Temperatura*). (ENVI-met, 2017).

3 CAPITULO: DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

Para aplicar la metodología y medir el indicador de confort térmico del espacio público se ha definido como sitio de estudio la parroquia “La Mariscal” barrio consolidado del centro norte de la ciudad de Quito a 2800m sobre el nivel del mar en la cadena montañosa de los Andes. En esta ciudad, el rango de temperatura está entre 19 a 28 grados centígrados y la temperatura promedio se mantiene en los 17 °C mientras se observan picos de temperatura máxima promedio de 23°C y mínimas promedio de entre 9°C y 10°C. (DMDU - STHV, 2014)

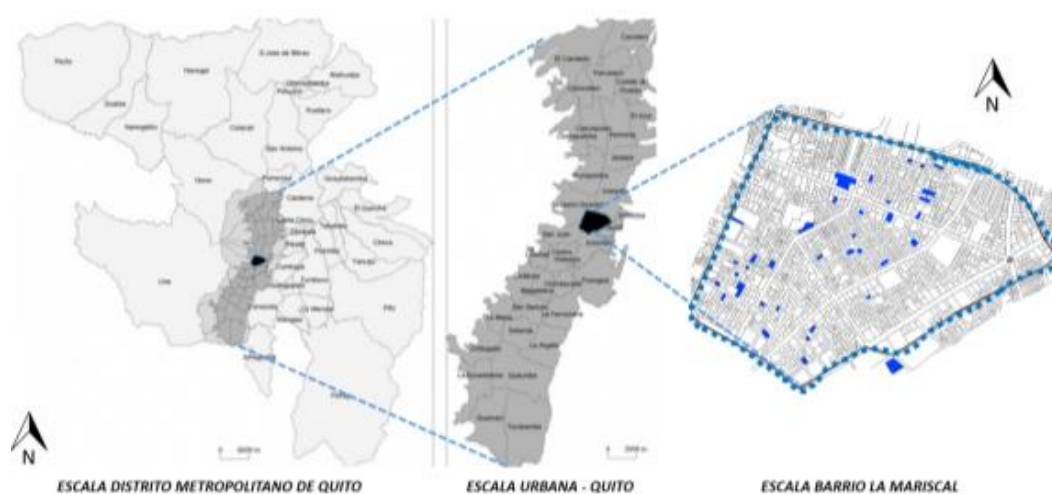


Ilustración 18, Sector La Mariscal, contexto con el Distrito Metropolitano de Quito, fuente: elaboración propia

Este barrio originalmente fue denominado “Ciudad Jardín”, en la dos últimas décadas se ha transformado perdiendo continuamente su vegetación y su arquitectura patrimonial. Actualmente existen varias edificaciones inventariadas y de gran interés patrimonial. La Mariscal, es un centro de servicios económicos, turísticos y de entretenimiento, tiene una densidad de 46 hab. /Ha, cifra que se ubica por debajo del promedio del DMQ. De acuerdo al censo del año 2010, esta parroquia tenía una población de 12.843 habitantes, para el año 2015 tendría una proyección de tasa de crecimiento del -3,1% y para el 2025 una proyección tasa de crecimiento de -4,5%. (DMDU - STHV, 2014)

En la Mariscal existe varios tipos de uso de suelo como residencial, comercial, educativos, salud y equipamiento (Ver tabla 3). La mayor altura de edificación se encuentra definida hacia la Av. Patria en 20 pisos (80m de altura), la Av. 12 de octubre 16 pisos (64m

de altura); la altura media en el sector se conforma entre las Avenidas 6 de diciembre, Colón, Amazonas y 10 de agosto con 12 pisos (48m de altura) y las calles secundarias que son más del 82% de las manzanas edificadas tienen una altura entre 3 y 6 pisos (12m a 24m de altura), (Ver ilustración 19). Por su predominancia en el sector, nuestros casos de estudio se enfocan en las calles secundarias.

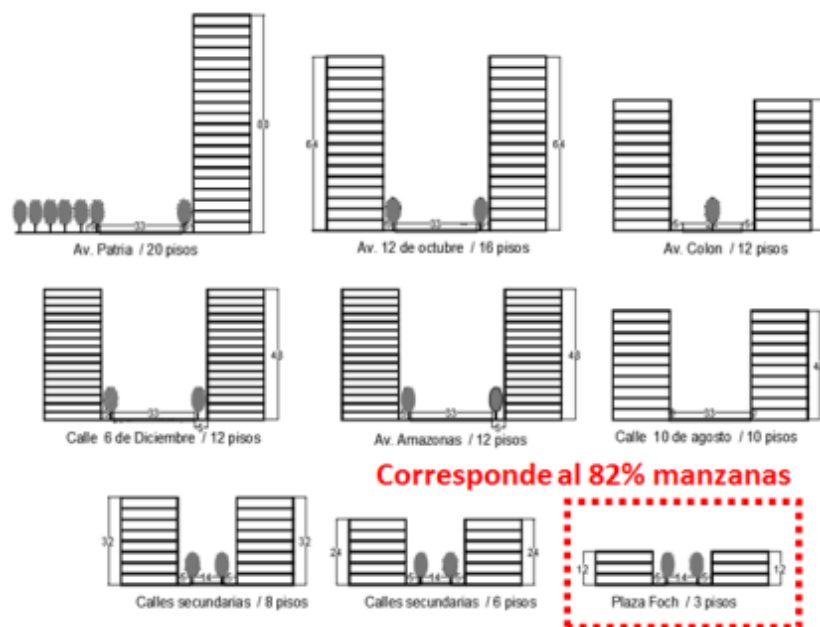


Ilustración 19, altura de edificación avenidas y Calles secundarias, La Mariscal, fuente: elaboración propia

Tabla 3, altura de edificación La Mariscal, calles y avenidas, fuente: elaboración personal

	ZONIFICACION	AVENIDA - CALLE	Zona	PISOS
AISLADA	A28	AV. PATRIA	A1020-40	20
AISLADA	A27	12 DE OCTUBRE	A1016-40	16
AISLADA	A24	6 DE DICIEMBRE Y COLON	A612-50	12
CONTINUA	C10	CALLE AMAZONAS	C612-70	12
SOBRE LINEA DE FABRICA	D8	10 DE AGOSTO	D610-70	10
AISLADA	A22	CALLES SECUNDARIAS	A608-60 (PB)	8
AISLADA	A21	CALLES SECUNDARIAS	A608-50	8
AISLADA	A19	CALLES SECUNDARIAS	A606-50	6
CONTINUA	C13	Plaza Foch	C612-70	3

En este sector como otros sectores de la ciudad, el proceso de urbanización sustituye los suelos y áreas naturales por superficies construidas, cuyos materiales se caracterizan por una baja reflectividad, disminuyendo la capacidad de absorción de agua y un comportamiento térmico propicio para el almacenamiento y la emisión de calor. Para el evento Hábitat III en el año 2016, arquitectos investigadores del Municipio de Quito realizaron una Investigación sobre los Efectos Isla de Calor Urbana en La Mariscal (Proaño & Pozo, 2016), esta

investigación experimental se la hizo utilizando la técnica de transeptos urbanos, que es el registro de datos meteorológicos (temperatura y humedad relativa) a lo largo de un recorrido previamente establecido permitieron realizar representaciones gráficas (isotermas de temperatura) y sus variaciones climáticas. Ilustración 20.

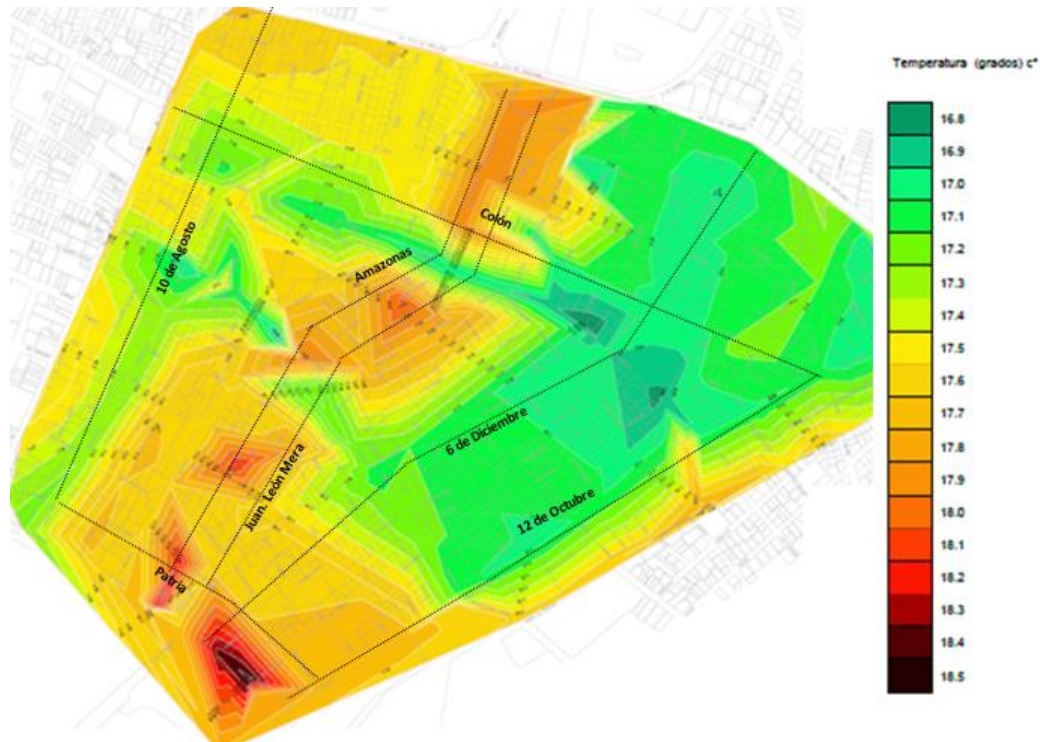


Ilustración 20, plano isotermas de temperatura, Islas de calor, sector LA MARISCAL, Quito, 10 de julio del 2016 Fuente: (Proaño & Pozo, 2016)

En este trabajo los resultados evidencian que las temperaturas más moderadas se encuentra en la zona noreste, sureste, oeste y sur oeste; una zona confortable está entre las calles 6 de Diciembre, Av. 12 de Octubre desde la Veintimilla hasta la Orellana, los descensos de temperatura importantes se observa en el sector junto a la calle Páez, Veintimilla y Luis Cordero. Sin embargo, los puntos más importantes que representan efectos de Isla de calor urbana en la Mariscal con incrementos de temperatura permitieron identificar cuatro posibles casos de estudio que presentamos a continuación:

1. Calles Juan Rodríguez y Lizardo García
2. Plaza Gabriela Mistral
3. Plaza del Quinde (Plaza Foch)
4. Sector Casa de la Cultura Ecuatoriana



Ilustración 21, plano la Mariscal 4 sectores de análisis propuestos, elaboración propia

3.1 Calle Juan Rodríguez y Lizardo García.-

Estas vías atraviesan un sector originalmente denominado ciudadela “Simón Bolívar” en la Mariscal, urbanizado por la antigua Caja de Pensiones entre los años 1935 y 1945, las viviendas en gran mayoría inventariadas, tienen características compactas neoclásicas con una distribución interior funcional para la época y distribuida en dos pisos; principalmente en las aceras sobresale su vegetación de árboles Platanos (*Platanus acerifolia*), especie exótica originaria de Europa plantados a finales de los años 1930. Este sector mantiene un importante número de casas inventariadas patrimoniales con su arquitectura original en gran parte (Ponce, 2011). El sector tiene una tipología de manzanas y calles que se replica en varios sectores de la Mariscal, por lo que el análisis de este lugar es representativamente importante. Estas dos calles particularmente tienen similitudes como son: su proporción, orientación, escala de edificaciones y ancho de vía, sin embargo, existen también diferencias notables como es la pérdida del arbolado urbano y la incorporación del asfalto como capa de rodadura vehicular predominantes en la calle Lizardo García (Fotografía 1).

determinado por la Municipalidad ha mantenido a los predios colindantes a la plaza la zonificación (*Residencial 2 – mediana densidad*), la cual permite solo el funcionamiento de vivienda, comercio barrial - sectorial y oficinas. En esta plaza también se desarrollan ferias, conciertos, eventos culturales, actividades recreacionales juveniles e infantiles en los que también participa la comunidad residente. Actualmente, la plaza tiene árboles de categoría grande, de copa ancha como Eucaliptos y Álamos plateados y Eugenias (Secretaría de Ambiente, 2016). Debido a las insuficientes áreas públicas habilitadas esta plaza representa una importante zona de esparcimiento recreacional, encuentro para turistas, habitantes y transeúntes.



Fotografía 2, plaza Gabriela Mistral, lado este, fuente: personal



Ilustración 24, ubicación Plaza Gabriela Mistral, Calles Baquerizo Moreno, Reina Victoria, Luis Cordero Y Diego de Almagro

3.3 Plaza del Quinde (Plaza Foch).-

En la década de los 70's y 80's en las calles General Foch, Lizardo García, Juan Rodríguez, Calama, cercanas a la Plaza del Quinde, funcionaron restaurantes con variedad de comida internacional apetecida por turistas y habitantes del sector, sin embargo, en las últimas décadas estos negocios han cerrado sus puertas debido a la inseguridad; en las dos

últimas décadas se han implementado en la plaza y sus cercanías, actividades comerciales de distracción nocturna como bares, karaokes, cantinas y restaurantes promovidas por inversionistas privados y públicos. Esta plaza pública está atravesada por dos vías locales: “Reina Victoria y Mariscal Foch” fracturando este espacio público en cuatro retículas donde coexisten comercios de diversión nocturna y espacios de estancia con gran afluencia de personas provenientes de todos los sectores de la ciudad (Ponce, 2011).

Esta plaza, considerando su gran dinamismo, su capacidad de ser un punto de encuentro, su gran representatividad con actividades diurnas y nocturnas y su problemática por las limitadas zonas de sombra para los transeúntes representa un sector importante para ser considerada como caso de estudio en esta investigación.



Fotografía 3, Plaza del Quinde (Plaza Foch, Calles: Reina Victoria y Mariscal Foch Fuente: (Googlemaps, 2015)



Ilustración 25, Ubicación, Plaza del Quinde (Plaza Foch), fuente: (Googlemaps, 2015)

3.4 Sector Casa de la Cultura Ecuatoriana.-

En este sector confluyen las Avenidas, 12 de octubre y Patria con un alto tráfico vehicular y peatonal, opacando el disfrute visual de la obra del escultor ecuatoriano Antonio Salgado “Fuente de la Insidia” en el centro del redondel. Este monumento se implanta sobre una piedra circular delimitada por cuatro focas de bronce con cinco jarras o jarrones (ECUAVISIA, 2014). Frente a estas avenidas se encuentra el edificio matriz de la Casa de La

porque mejoran las condiciones acústicas, lumínicas y térmicas del sector y sus efectos sobre los peatones pueden ser evaluados.

3.5.2 Vialidad y trama urbana.-

La morfología de las edificaciones existentes están directamente vinculadas con la orientación de la trama urbana, la vialidad condiciona la disposición de las nuevas edificaciones; otro elemento importante es la densidad de edificaciones que afectan directamente los microclimas urbanos y los sistemas de climatización interior (Echave, 2007). La forma o trama vial se estructura con una grilla principal definida por varias retículas ortogonales, limitada por grandes avenidas que recorren transversalmente y longitudinalmente el sector. Dentro de esta trama se producen pequeños nodos o quiebres en la malla urbana (damero) produciendo espacios públicos de diferente escala, función y tamaño. En el caso de La Mariscal, las calles secundarias son predominantes, su trama urbana es regular con edificios de 2 a 3 pisos mayoritariamente. Este tipo de trama se ha conservado al interior del sector guardando una escala humana.



Ilustración 27, ejes urbanos dominantes sector la Mariscal, trama ortogonal por zonas, fuente: propio

3.5.3 Afectación de las edificaciones inventariadas.-

Los servicios existentes en La Mariscal y su vocación turística han producido grandes necesidades espaciales constructivas en las edificaciones patrimoniales, por lo que estas sufren transformaciones morfológicas degenerativas y un progresivo deterioro perdiendo continuamente el valor histórico arquitectónico patrimonial. Hay varias calles que aún mantienen edificaciones con características originales de la "*ciudad Jardín*": calles arboladas, aceras amplias y viviendas con espacios ajardinados. Estos elementos le dieron en su época un alto valor inmobiliario y ahora patrimonial.

3.5.4 Accesibilidad vial hacia espacios públicos.-

En la Mariscal los peatones transitan mayoritariamente por las avenidas y vías principales, que en algunos casos tienen una buena cobertura de sombra, sin embargo, en otros sectores es muy deficiente; además existen plazas y áreas verdes públicas limitadas para la alta densidad poblacional flotante que transita en el sector. Es fundamental que se pueda facilitar la circulación peatonal en forma independiente hacia las plazas y parques en un tiempo no mayor a 15 minutos, este parámetro está definido por la Agencia Europea de Medio Ambiente, (Echave, 2007).

3.5.5 Mejorar el potencial de confort.-

El potencial de confort difiere si analizamos cada calle o plaza del sector y las condiciones ambientales están debilitadas por la poca existencia de arbolado y la emisión de contaminantes producidos por los automotores. Las condiciones lumínicas están definidas por el tipo y color de los materiales existentes en las edificaciones sin embargo el componente más influyente es el asfalto de las calles. La incidencia de la luz y su coeficiente de reflexión (albedo) definen los niveles de iluminación de un lugar y la vegetación tiene un papel importante disminuyendo este efecto, las cubiertas verdes pudiendo absorber de 15 a 35 % de la energía que emite las superficies. Las condiciones térmicas están definidas por la morfología urbana y su exposición a la incidencia del sol que determinan los valores totales de radiación solar (Echave, 2007).

3.5.6 Definición de hitos o nodos referentes de sector.-

En la Mariscal, definido como un espacio urbano central, permite identificar varios sectores que por su estructura arquitectónica particular, sus límites, sus distintas escalas o por su interés social son determinados como hitos urbanos. La función que tienen estos es ubicar a los peatonales o visitantes un lugar específico, son un punto de referencia o de partida, también determinan una dirección de los transeúntes entre hitos. Los nodos por su parte son puntos donde confluyen varios accesos u conexiones peatonales o vehiculares, además se interrelacionan con otros nodos en forma de malla o retícula urbana. Estos sitios prevalecen sobre otros que no tienen características de circulación vial predominante.

3.6 Elección del Caso de Estudio.-

En base a los criterios y parámetros expuestos en este capítulo, los cuatro sectores a ser analizados contemplan vías de circulación y plazas públicas con características particulares para ser consideradas como caso de estudio en esta investigación. A continuación presentamos los resultados de la matriz de evaluación calificando los cuatro sectores bajo criterios definidos y en forma ponderada; es importante identificar la complejidad de la modelación debido a que el software (ENVI_met) utiliza un tiempo considerable al modelar y sobre todo simular los datos gráficos del escenario en el caso que existan gran cantidad de objetos como: edificios, aceras, calzadas, árboles, plantas, ríos, lagos, espejos de agua y zonas de vegetación. Otros criterios fundamentales son el número de edificaciones inventariadas, el potencial de confort esperado, la vegetación existente, la afluencia peatonal, su representatividad y replicabilidad en su contexto. A continuación se presenta la matriz de evaluación y los resultados de los cuatro casos presentados mostrando sus características y potencialidades permitiendo definir el caso de estudio de esta investigación:

Tabla 4, matriz de evaluación para definición del caso de estudios, fuente propia

CRITERIOS	Complejidad de la modelación	Número de Edificaciones inventariadas	Potencial de confort esperado	Vegetación existente	Afluencia peatonal	Incidencia del tráfico vehicular	Representatividad en el contexto del sector (replicabilidad)	Calificación
	50x50 = 3 100x100 = 2 > 100 = 1	< a 10 = 1 Entre 10 -20 = 2 > a 20 = 3	(1 a 5)	(1 a 5)	(1 a 5)	Alto = 1 Medio = 2 Bajo = 3	(1 a 5)	
1.- Calle Juan Rodríguez	3	3	4	4	3	3	4	24
Calle Lizardo García	3	2	2	2	3	3	4	19
2.- Plaza Gabriela Mistral	2	1	3	3	3	1	1	14
3.- Plaza del Quinde (Plaza Foch).-	2	2	3	2	4	1	2	16
4.- Sector Casa de la Cultura Ecuatoriana.-	1	2	2	1	5	1	1	13

Después de observar las características particulares de cada caso, las limitaciones, los criterios evaluados y la calificación de cada uno, se define como casos de estudio de esta investigación el sector No. 1, **calles Juan Rodríguez (caso No. 1) y calle Lizardo García (caso No. 2).**

4 CAPITULO: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA EN LOS CASOS DE ESTUDIO

4.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.-

4.1.1 Antecedentes Históricos.-

Calles Juan Rodríguez (caso 1) y Lizardo García (caso 2).- El sector denominado originalmente “Ciudadela Simón Bolívar”, fue construido entre los años 1935 y 1945; sobresale su arborización existente con árboles exóticos (Platanus) especie exótica originaria de Europa puede crecer hasta 40 m de altura con una longevidad de 300 años. En las viviendas se asentaron varios artistas y personalidades del movimiento cultural del barrio La Mariscal, esto contribuyó a que las calles Juan Rodríguez se consolide como un barrio “bohemio y cosmopolita”: según palabras de Ovidio Wappenstein, libro (Ponce, La Mariscal historia de un barrio moderno en Quito S. XX, 2011), *“obedece a que la calle estaba – está todavía – profusamente arborizada, característica que para los recién llegados les resulto especialmente atractiva en tanto les recordaba sus respectivos países de origen.”*

Desde los 70’s, los propietarios de las viviendas de las calles Juan Rodríguez y Lizardo García, fueron adicionando en los retiros, locales y negocios transformando su valor arquitectónico; en los 90’s paso a ser “el centro urbano” provocando el aparecimiento de nuevas edificaciones en altura para bancos, hoteles, servicios financieros y edificios públicos en un principio en las avenidas principales y después en las vías locales y arteriales como son las del caso de estudio.

Por lo expuesto, en la calle Lizardo García se evidencian lotes con edificaciones nuevas y terrenos abiertos sin edificaciones. Las nuevas ordenanzas permiten cuidar y mantener el patrimonio urbano arquitectónico del sector, sin embargo, varias viviendas consideradas con valor patrimonial fueron derrocadas y remplazadas por edificios mas lucrativos ya que el valor de los terrenos se había incrementado como es el caso de la calle Lizardo García. Esta circunstancia deteriora el patrimonio en la actualidad siendo una estrategia abandonar las construcciones y declararlas como ruina inminente para posteriormente derrocar la poca infraestructura resultante, con el fin de vender los terrenos a inmobiliarias de la construcción

(Ponce, 2011). Las fichas de edificaciones inventariadas del Distrito Metropolitano de Quito, en la calle Juan Rodríguez y Lizardo García, muestran viviendas de dos pisos (forma aislada) que existen en la actualidad, están catalogadas como edificaciones históricas protegidas considerando su valor tipológico (tipología de la edificación), su significado (simbólico, histórico, tecnológico, hito urbano, etc.) su estado y su relación con el entorno; consideradas en patrimonio arquitectónico urbanístico de la ciudad (Ilustración 28 e Ilustración 29).



Ilustración 28, Casas inventariadas calle Juan Rodríguez fuente: fichas casas inventariadas MDMQ

En la calle Lizardo García, tramo comprendido entre las calles Diego de Almagro y Av. 6 de Diciembre, existe una pérdida importante de edificaciones inventariadas y de la vegetación originaria (*Platanus Acerifolia*) (Ilustración 29). Esta calle particularmente en los últimos años, ha tenido un gran deterioro debido al incremento de establecimientos (bares y cantinas), que por su condición comercial han modificado las edificaciones; actualmente existen “normativas técnicas” específicas que deben cumplir los comercios para continuar funcionando como bares de servicios al público.



Ilustración 29, Casas inventariadas calle Lizardo García, fuente: fichas casas inventariadas MDMQ elaboración: propia

4.1.2 Características Morfológicas.-

Caso de estudio 1, calle Juan Rodríguez.- Las edificaciones tienen cubiertas inclinadas, estructuradas en madera y recubiertas con superficies de teja o metálicas, actualmente funcionan como áticos, habitaciones e incluso bodegas. Esta configuración proveniente de zonas con cuatro estaciones evidentemente distintas a las ecuatoriales. Este habitáculo recrea una cámara en forma de doble cubierta permitiendo que la incidencia solar en la cubierta no incremente la temperatura interior de los pisos superiores, además, la altura de edificación en su cumbrero incrementa las horas de sombra en la calle (ilustración 30, a). Los árboles (*Platanus – acerifolia*) en la acera pública, producen grandes zonas de sombra, incrementando la humedad relativa del ambiente previniendo la excesiva evaporación del rocío producido en las bajas temperaturas en la noche.

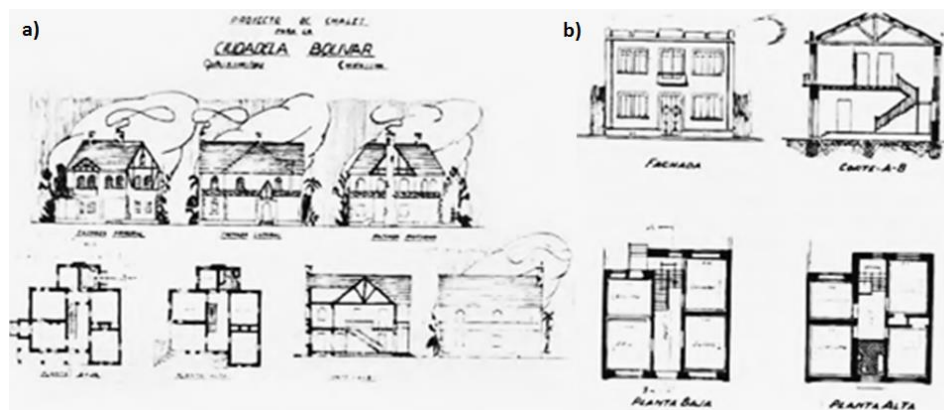


Ilustración 30, calle Juan Rodríguez, denominada ciudadela Bolívar, diseñados entre 1935 y 1945, fuente: (Ponce, 2011) tomada de revista “Trama”, No. 7/8, 1978.

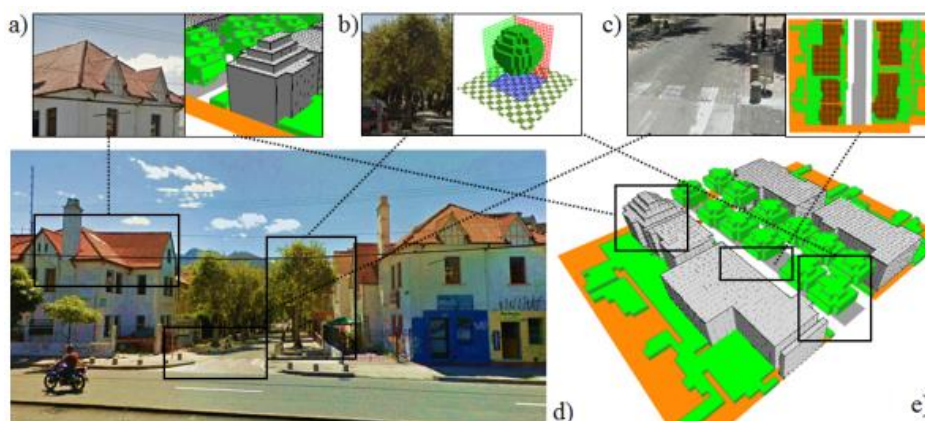


Ilustración 31, objetos de la simulación, ENVI_met, CASO 1, calle Juan Rodríguez CASO 1, Cubiertas, arborización y vialidad, elaboración propia.

Caso de estudio 2, calle Lizardo García.- A diferencia del primer caso, esta calle tiene notables cambios en su estructura compositiva arquitectónica, existe poco arbolado (Ilustración 32, d), el asfalto es un material predominante en la calzada y prevalecen edificaciones de hormigón armado con losas planas y alturas superiores a los 3 pisos (Ilustración 32, b).

Algunas edificaciones modernas tienen grandes ventanales de vidrio, fachadas recubiertas con fachaleta de arcilla y piedra (Ilustración 32, c). Las viviendas patrimoniales que se han mantenido poco alteradas, conservan sus áreas exteriores (antiguos jardines permeables) recubiertos de cemento; esta es una práctica recurrente en el sector debido a que los jardines con vegetación necesitan mantenimiento periódico además producen humedad en los socalos de los cerramientos circundantes.

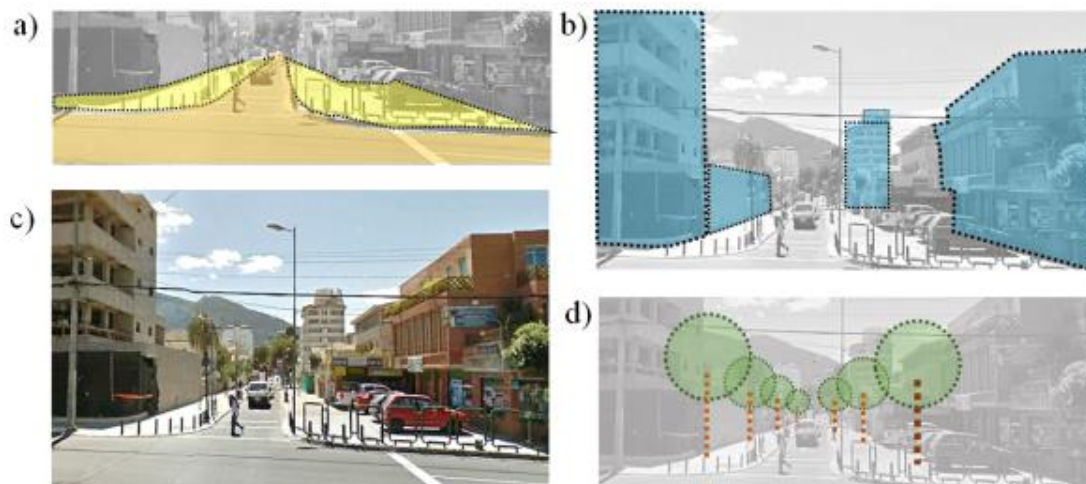


Ilustración 32, calle Lizardo García – CASO 2, vía asfalto, poca arborización, edificaciones, elaboración propia.

4.1.3 Materiales superficiales.-

Caso de estudio 1, calle Juan Rodríguez.- La capa de rodadura de la vía pública que su condición original fue lastrada y empedrada entre los años (1940-1980), actualmente tiene una superficie de adoquín de hormigón vehicular, produciendo distintos efectos térmicos a los originales por la poca permeabilidad y gran masa e inercia térmica acumulando el calor incidente, posteriormente expulsa al exterior (Ilustración 31, c).

Este material en el software ENVI_met tiene las siguientes propiedades físicas: (*concret cast dense / absorption 0.700/ reflection 0.30 / emissivity 0.90 / specific heat 840.00 / thermal conductivity 1.900 / density 2500.00*). (ENVI-met, 2017)

Caso de estudio 2, calle Lizardo García.- Las limitadas zonas de sombra van a producir efectos térmicos importantes en los resultados de las simulaciones ya que toda la radiación solar incide directamente en las superficies de hormigón (aceras) y en la calzada (asfalto) (Ilustración 32, a), además afecta a las losas planas de hormigón armado de las nuevas edificaciones.

La calzada de asfalto en el software tiene las siguientes propiedades: (*Asphalt road / albedo: 0.200 / emissivity: 0.90*) (ENVI-met, 2017). En los casos de estudio **1** y **2**, las propiedades de las paredes, pisos y cubiertas están asignadas con los siguientes materiales: *SYSTEM WALLS / Concret slab (hollow block, default- 00)* losa de hormigón o bloque hueco, y (*Roofing:*

terracotta- R2) cubierta de terracota/arcilla moldeada, que son materiales predominantes en las viviendas (ENVI-met, 2017) (ver Ilustración 33).

De acuerdo a la longitud de onda, el balance de radiación solar varía en la vegetación, “*un bosque puede absorber entre un 60% y 90% de la energía solar que recibe. La radiación absorbida es convertida en calor...*”; “*... Un 5% de energía es almacenada por la planta para emplear en la fotosíntesis y una tercera parte de la energía se utiliza en la evapotranspiración, transformándose en calor latente.*” (Echave, 2007).



Ilustración 33, materiales identificados en los casos 1 y 2, elaboración propia.

4.2 MODELACIÓN Y SIMULACIÓN.-

4.2.1 Construcción del modelo ENVI_met.-

El **caso de estudio No. 1, calle Juan Rodríguez (año 1940 – 1980)**, las edificaciones colindantes datan de la década de los 40`s y son parte del inventario histórico de la ciudad. En el software simularemos el estado original de la calle mediante una hoja catastral (10404 – 10405) realizada por el Instituto Geográfico Militar en el año 1985, escala 1:1000, que contiene detalles específicos de la calle, edificaciones, altura, topografía, elementos geográficos, depresiones, bloques, espacios verdes, aceras, calzadas, etc. La calle Juan Rodríguez, año 1940 – 1980, está definida en el software con una grilla (70 x 50 x 35) en coordenadas (x y z), con una resolución de 1,0m. El software recomienda que la altura límite del espacio del modelo deba ser el doble de la altura del edificio más alto de la modelación.

En base a la escala planteada y debido a que toda la vía tiene condiciones morfológicas similares, únicamente se grafica un tramo de la calle; adicionalmente, la vía en sus condiciones originales era lastrada y las aceras en algunos casos encespedas según fotografías de la época (ver Ilustración 34).

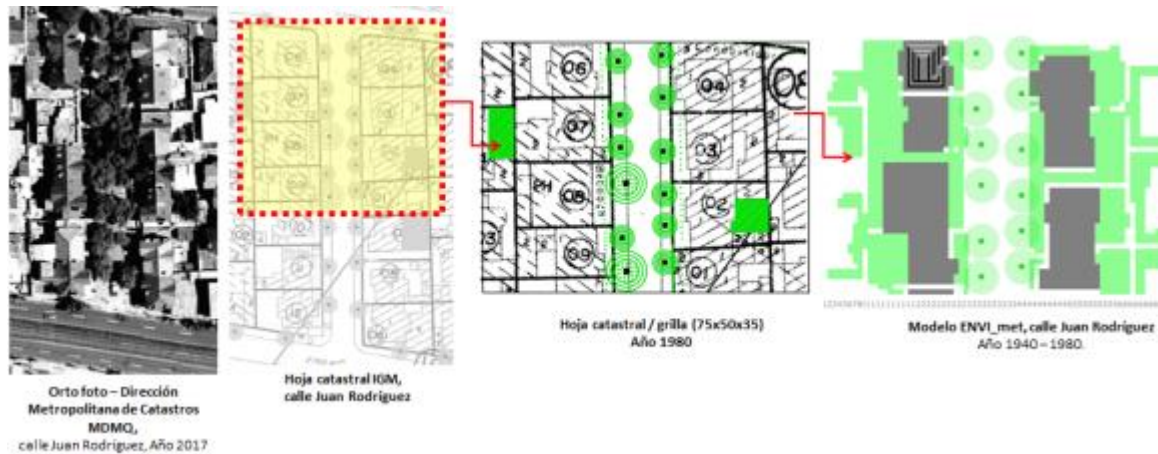


Ilustración 34, construcción del modelo ENVIMET, CASO 1, Escenario 1, definición de escala y grilla, calle Juan Rodríguez, elaboración propia.

En la simulación de la **calle Juan Rodríguez, (estado actual - año 2017)**, definimos una grilla (40 x 100 x 35) en coordenadas (x y z) con una resolución de 1,2m.

La escala planteada se define en una cuadra completa de la calle, desde la Avenida 6 de diciembre hasta la calle Diego de Almagro; en este modelo se puede observar que la vegetación baja en los predios privados ha sido remplazada por zonas duras o encementadas no permeables y la capa de rodadura de la vía cambia su condición original por adoquín decorativo de color (ver Ilustración 35).

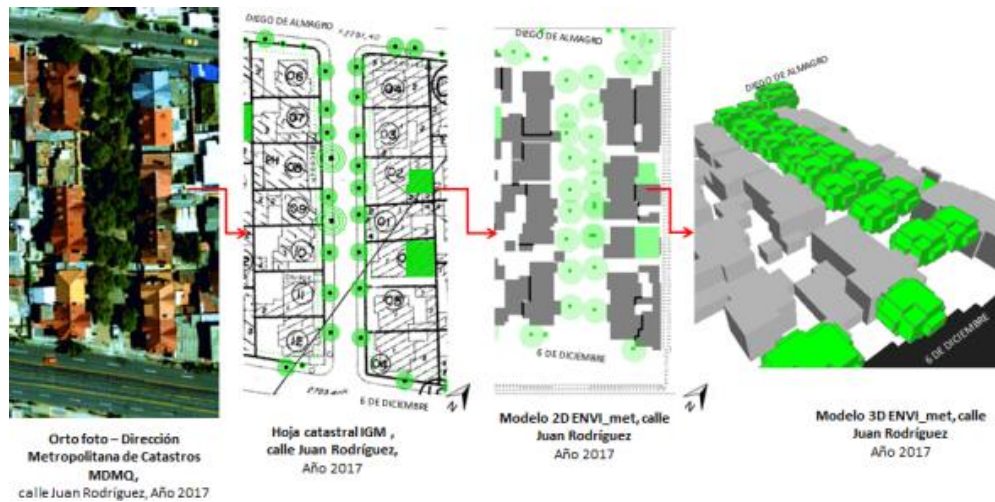


Ilustración 35, construcción del modelo ENVIMET, CASO 1, calle Juan Rodríguez, definición de escala y grilla, elaboración: propia.

Para el **caso de estudio No. 2, calle Lizardo García, (estado actual año 2017)**, definimos una grilla (40 x 100 x 35) en coordenadas (x y z) y con una resolución de 1,2m. La escala planteada define en una cuadra completa de la calle, desde la Avenida 6 de Diciembre hasta la calle Diego de Almagro. En este modelo hay muy poca vegetación baja en los predios privados, en la actualidad está remplazada por zonas duras o encementadas no permeables, con poca arborización en la acera y con algunas edificaciones originales que han sido derrocadas y remplazadas por edificios en hormigón armado. La vía está compuesta por aceras adoquinadas y la calzada asfaltada (ver Ilustración 36).

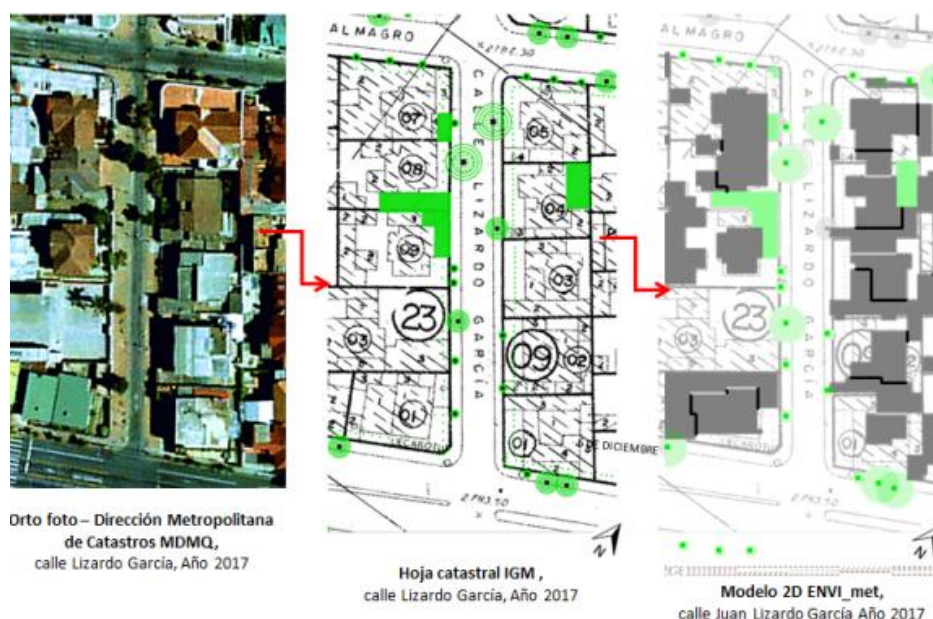


Ilustración 36, construcción del modelo ENVIMET, Caso de estudio 2, calle Lizardo García, definición de escala y grilla,, elaboración: propia.

4.2.2 Definición geográfica y climatológica

Para configurar las propiedades geográficas de los casos de estudio utilizamos la herramienta (*SPACE ENVI_MET*) y modificamos: *longitud, latitud, time zone, coordenadas y altitud* de la plataforma con respecto al nivel del mar. La orientación de las simulaciones con respecto al norte real tiene una rotación (*-36,04 grados*) para que las calles sean graficadas en forma ortogonal alineadas a la grilla del software. Estos datos fueron obtenidos del programa Climate Consult, estación meteorológica 840710 (*INTERNATIONAL WEATHER FOR ENERGY CALCULATIONS (IWEW WEATHER FILES)*) y son: (*time zone:-05.00, latitude: s 00 09, longuitude: W 078 29, elevelion +2812, first year: 1982, last year: 1999, cat:3*) (ASHRAE, 2001).

Los datos meteorológicos de los casos de estudio 1 y 2, se obtuvieron de la aplicación Climate Consult, ficheros de la estación meteorológica (*ECU_Quito.840710_IWEW, INTERNATIONAL WEATHER FOR ENERGY CALCULATIONS, IWEW WEATHER FILES*) en formato EPW (*Energy Plus Weather*), se configuran utilizados la herramienta (*ConfigWizard – ENVI_met*). La estación meteorológica está localizada en el antiguo Aeropuerto de Quito, en forma horaria (ISH) en promedio al menos 4 observaciones diarias de: velocidad y dirección del viento, cobertura de cielo, visibilidad, temperatura del bulbo seco, temperatura del punto de rocío, presión atmosférica, precipitación de por lo menos 12 años de registro.

4.2.3 Caracterización componentes, materiales y albedo.

Las superficies verticales y las horizontales, en los casos de estudio 1 y 2, producen constantes efectos de intercambio térmico (conducción, convección y radiación), debido a la transferencia de calor, el viento del sector, la radiación global, la temperatura del aire, la humedad relativa y los materiales del modelo, se define como los principales elementos que afecta el balance térmico y el potencial de confort de la calle. A continuación se presentan tablas con los materiales utilizados para elaborar las modelaciones de los casos de estudio en el software ENVI_met.

Tabla 5, base de datos, materiales utilizados en simulación, caso 1 y 2, ENVI_met, fuente: (Bruse, 2017)

Parámetros	Grosor	Absorción	Transmitancia	Reflexión (ALBEDO)	Emisividad	Calor específico	Conductividad térmica	Densidad
(R2) Roofing: terracotta – teja de arcilla	0.05	0.50	0.00	0.50	0.90	840.0	0.81	1700.0
(OO) Concrete Slab (hollow block, default) – bloque hueco	0.30	0.70	0.00	0.30	0.90	840.0	0.86	930.00
Brick: burned / Ladrillo cocido	0.30	0.70	0.00	0.30	0.90	840.0	0.86	930.0
(G4) Clear float glass – vidrio en ventanas	0.02	0.05	0.90	0.05	0.90	750.0	1.05	2500.0
(ST) Steel – cubierta metálica	0.02	0.20	0.00	0.80	0.10	4800.0	45.0	800.0
(C4) Concret: filled block – bloque concreto	0.10	0.70	0.00	0.30	0.90	840.0	0.85	1260.0
(C5) Concret cast dense	0.30	0.70	0.00	0.30	0.90	840.0	1.90	2500.0
(XX) Grass 50cm aver dense – hierva				0.20				
(B8) Platanus × Acerifolia h=20 w=15				0.18 follaje albedo				

Tabla 6, base de datos, materiales en suelo, caso 1 y 2, ENVI_met, fuente: (Bruse, 2017)

Parámetros	Type material	Reflexión (ALBEDO)	Emisividad	Water content a field capacity	Water content a wilting point	Matrix potential	Hydraulic conductivity	Volumetric heat capacity	Heat conductivity
(00) Default soil (loam)	Natural soil	0.20	0.45	0.24	0.155	-0.478	7.00	1.212	0.00
(ZB) Cement concret	Artificial material	0.30	0	0	0	0	0	2.083	1.63
(AK) asphalt whit gravel	Artificial material	0.20	0	0	0	0	0	2.214	1.16

4.2.4 Caracterización de la vegetación

En los casos de estudio 1 y 2, mediante la herramienta *ALBERO ENVI_MET*, se inserta en la simulación los arboles existentes, denominados (*Platanus – Acerifolia – London/Hybrid Plane – (B8)*), (*altura: 10,0m y ancho 9,0m*), (*follaje albedo: 0.18*), (*diámetro de la raíz : 5,0m*), con grupos de células y densidad de área foliar que van desde 0,5 m² - m³ a 0,7 m² - m³, cada célula individual de la rejilla de hojas se fijaron en 1,0m - m³ (Bruse, 2017).

En la superficie horizontal que cubre los jardines exteriores se utiliza en el modelo la hierba denominada: (*hierba - Grass 50cm aver – dense – (XX)*), (*albedo 0.20*), (*altura de plantas 0.63cm*), (*profundidad de la raíz 50cm*) (*ver Ilustración 37*). En la superficie del suelo, la distribución de la temperatura es calculada considerando el tipo, constitución y material predominante, con una profundidad determinada por el software de 4m; es posible seleccionar diferentes composiciones del suelo, también calcular la conductividad térmica mediante cálculo del contenido de humedad existente en el piso (Bruse, 2017). El balance hídrico de la superficie del suelo es un parámetro fundamental en el análisis micro climático de las ciudades, debido a que pueden responder como elementos que refrigeran en ambiente y mejoran la vitalidad del entorno arborizado. Los suelos con un limitado contenido de humedad (suelos secos) pueden producir temperaturas superiores al asfalto de las calles; en los casos de estudio 1 y 2 se configuró el tipo de suelo como *NATURAL SURFACES (Loamy soil - LO)* o suelo compacto, (*concret pavement gray and light – PD - PL*) *pavimento de concreto (oscuro/ liviano)*, (ENVI-met, 2017).

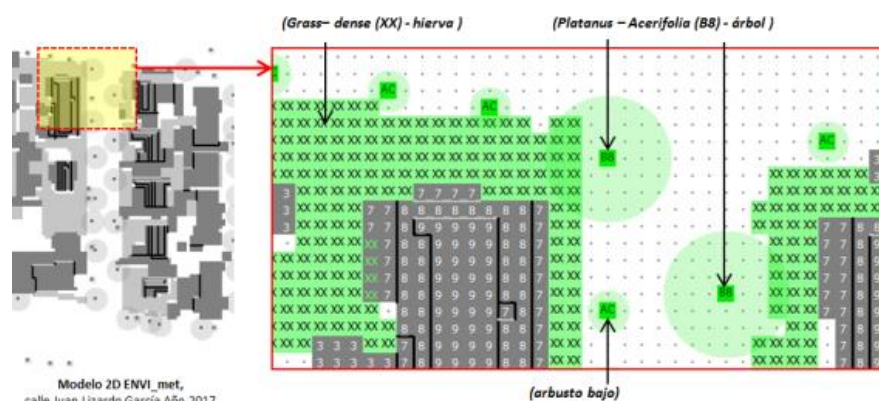


Ilustración 37, construcción de vegetación, SPACE / ALBEDO – fuente: (Bruse, 2017)

4.3 ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL.-

Cada caso de estudio, en el software ENVI_met, está dividido en simulaciones con las siguientes letras **CASO 1 Juan Rodríguez:** (A, B y C) y **CASO 2 Lizardo García:** (D y E), para mejorar la comprensión del trabajo de simulación y sus resultados, a continuación se presentan los datos mediante fichas que sintetizan la información en tres partes: 1) información básica de la simulación, 2) resultados gráficos y técnicos y 3) conclusiones.

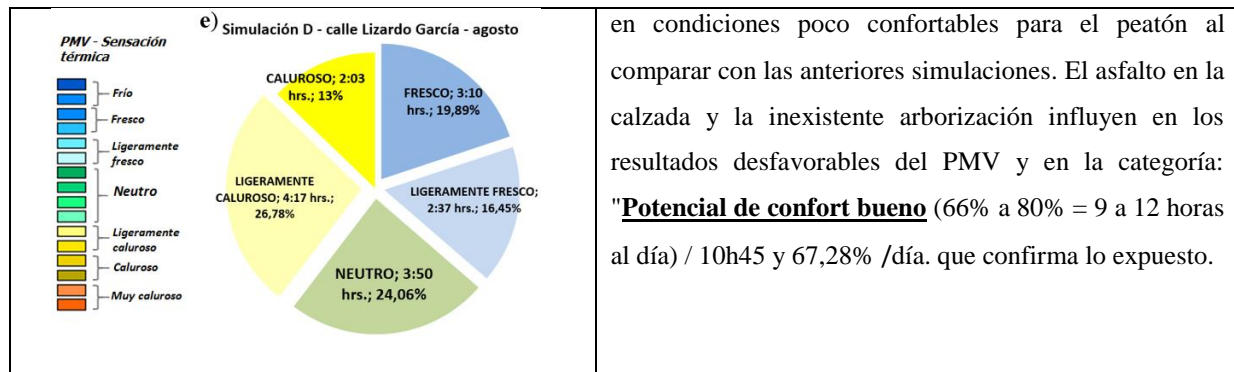
4.3.1 CASO DE ESTUDIO 2, calle Lizardo García.-

Tabla 7, casos de estudio 2, simulaciones, estado y mes de modelación, fuente: elaboración propia.

CASOS DE ESTUDIO	SIMULACIONES - AÑO	ESCENARIO	MES – CONDICIÓN CLIMÁTICA
Caso No. 2	Simulación D , calle Lizardo García, año 2017.	ESTADO ACTUAL	AGOSTO - DIA CALIDO
	Simulación E , calle Lizardo García, año 2017.	ESTADO ACTUAL	FEBRERO - DIA FRIO

Ficha 1, evaluación de resultados, SIMULACION D

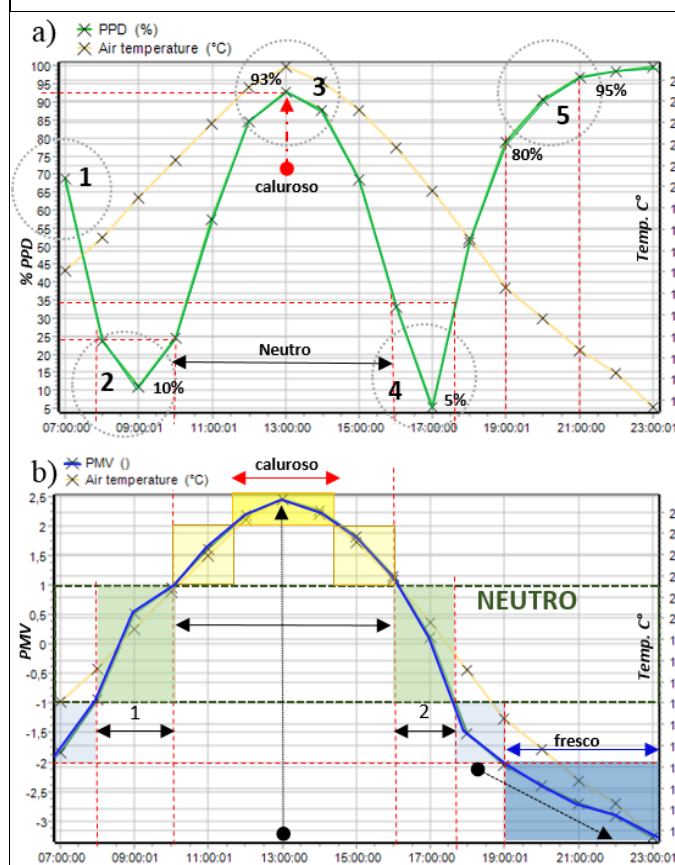
CASO DE ESTUDIO: 2	CALLE: Lizardo García	SIMULACIÓN: D (cálido)
HORAS DE MODELACIÓN: 7h00 – 22h00		FECHA DE SIMULACIÓN: 1 de agosto 2017 / día cálido, baja nubosidad, alta radiación
CONDICIÓN: Escenario actual - 2017		INDICADOR: Indicador de confort térmico
INDICE: (PMV-predicted mean vote) y (PPD-predicted percentage dissatisfied (Biomet)		DATOS CLIMATICOS: ECU _ Quito. 840710_IWEC
MATERIALES: Calle asfaltada y acera adoquinada, muros de bloque y tierra, cubierta de teja y metálica y losas de hormigón armado.		VEGETACIÓN: (sin arborización) / jardines: encementados
<p>FOTOGRAFÍAS: Fotografía 5, Calle Lizardo García, caso de estudio 2, (Googlemaps, 2015). Este escenario considera la características morfológicas, vegetación y materiales en su contexto actual (año 2017).</p>		
RESULTADOS 1: Gráficos sensación térmica PMV / ENVI_met – Leonardo		
<p>a) SIMULACIÓN - 07h00  b) SIMULACIÓN - 09h00 </p> <p>c) SIMULACIÓN - 13h00  d) SIMULACIÓN - 15h00 </p>		<ul style="list-style-type: none"> ▪ En el gráfico a, de 7h00 a 8h00, el índice (ligeramente fresco) se presenta a lo largo de la calle y en los jardines colindantes; esto significa que los espacios de circulación (públicos y privados) a nivel del peatón están en condiciones confortables ligeramente frías pero aceptables en las primeras horas de la mañana; esto se produce por la orientación favorable de la calle (SE-NO), poca altura edificada limitando zonas de sombra. ▪ En los gráficos a, b, c y d la escasa arborización, las inexistentes zonas permeables y la calzada de asfalto determina que este escenario tiene un bajo índice (neutro = 24.06% y 3h50) y bajas condiciones de confort, si comparamos con las simulaciones A y B. Además, los índices PMV (<i>ligeramente calurosos</i> 26,78%, y <i>ligeramente fresco</i> 16:45%) son valores altos determinantes para obtener la categoría: "Potencial de confort <u>bueno</u>" que es considerada como aceptable. El índice (caluroso: 13% y 2h03) inconfortable, influye directamente en el potencial de la calle por su duración y por el momento en el día cuando existe un mayor movimiento y tránsito peatonal. ▪ En la ilustración e, la calle tiene índices de confort: (ligeramente fresco, neutro y ligeramente caluroso, = 67,28% diario, esto significa que la vía actualmente está



en condiciones poco confortables para el peatón al comparar con las anteriores simulaciones. El asfalto en la calzada y la inexistente arborización influyen en los resultados desfavorables del PMV y en la categoría: "**Potencial de confort bueno**" (66% a 80% = 9 a 12 horas al día) / 10h45 y 67,28% /día. que confirma lo expuesto.

CATEGORIA CONFOR TÉRMICO: Potencial de confort bueno (66% a 80% = 9 a 12 horas al día) /./conforme datos del software ENVIMET: día 10h45 horas y **67,28%** del día útil. Para determinar la categoría de confort revisar el capítulo I, *Indicadores de Sostenibilidad, categorías de confort térmico.*

RESULTADOS 2: Confort térmico- histograma PPD y PMD



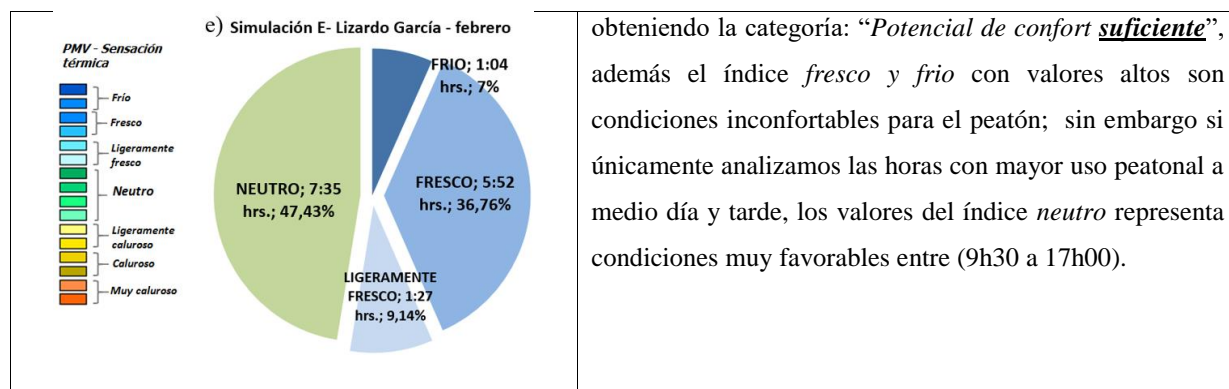
- En el histograma a % PPD, existen cinco periodos en el día (agosto-cálido) en que varía el porcentaje de personas insatisfechas en forma extrema: (7h00-70% PPD), (09h00-10% PPD), (13h00-93% PPD), (17h00 – 5% PPD) y (17h00 – 80% PPD), estas características cambiantes indican que existe un importante stress térmico afectando a las personas que habitan el sector en esta época del año.
- En el histograma b, existen dos lapsos de tiempo en condiciones inconfortables severas: (*caluroso* de 2h03 y 13%) y (*fresco* 3h10 y 19,89% del día); estos resultados son concluyentes y determinan que esta calle tiene las peores condiciones de confort de respecto a las anteriores simulaciones analizadas. Además, de 17h00 a 19h00 se incrementa el porcentaje estimado de personas insatisfechas PPD hasta un 90%; cambia de índice (*ligeramente fresco a fresco*), este efecto confirma las condiciones mencionadas y además concuerda con el hecho que las noches de verano son las más frías del año debido a la poca nubosidad.

Ilustración 38, Sensación térmica PMV / PPD y potencial de horas, calle Lizardo García, mes cálido Agosto, programa ENVI_met, fuente: elaboración propia.

DATO RELEVANTE: En esta simulación, a diferencia de las simulaciones anteriores, el material en la calzada es el asfalto (*Asphalt road: albedo: 0.200 / emissivity: 0.90*), al ser un material oscuro absorbe la luz solar, incrementa su temperatura, acumulando la radiación incidente e incrementando la temperatura y los efectos de isla de calor urbana.

Ficha 2, evaluación de resultados, SIMULACION E

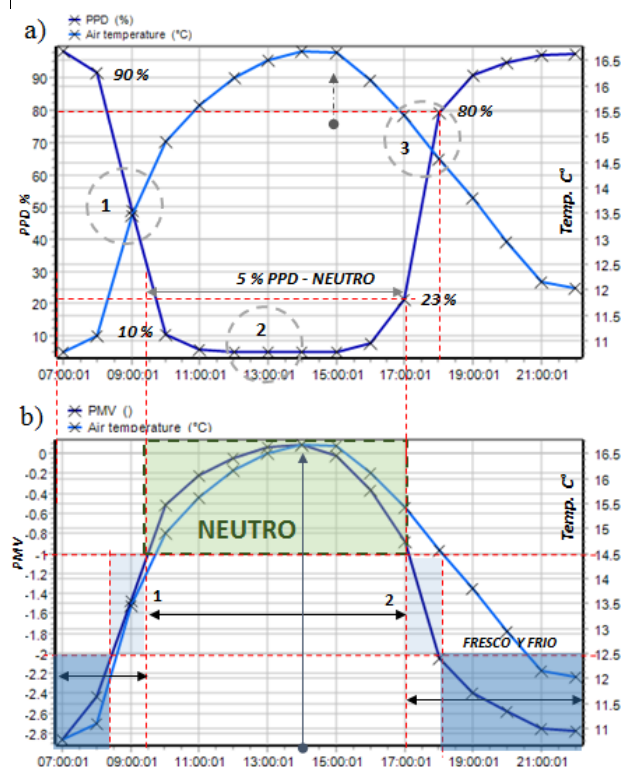
CASO DE ESTUDIO: 2		CALLE: Lizardo García	SIMULACIÓN: E (frío)
HORAS DE MODELACIÓN: 7h00 – 22h00		FECHA DE SIMULACIÓN: 1 de febrero 2017 / día frío, alta nubosidad, baja radiación.	
CONDICIÓN: Escenario actual - 2017		INDICADOR: Indicador de confort térmico	
INDICE: (PMV-predicted mean vote) y (PPD-predicted percentage dissatisfied (Biomet)		DATOS CLIMATICOS: ECU _ Quito. 840710_IWEC	
MATERIALES: Calle asfaltada, acera adoquinada, muros de bloque - tierra, cubierta de teja - metálica y losas de hormigón armado.		VEGETACIÓN: (sin arborización) / jardines: encementados	
FOTOGRAFÍAS: Fotografía 6, Calle Lizardo García, caso de estudio 2, (Googlemaps, 2015). Este escenario considera la características morfológicas, vegetación y materiales en su contexto actual (año 2017).			
RESULTADOS 1: Gráficos sensación térmica PMV / ENVI_met – Leonardo			
		<ul style="list-style-type: none"> En los gráficos PMV a, b, c y d muestran que en la calzada de asfalto y la insuficiente sombra producen incrementos en los índices de sensación térmica en todo el día, si comparamos con los índices en los jardines y espacios abiertos privados; esto demuestra el efecto importante en el confort y en el incremento de la temperatura en zonas urbanas. En la ilustración b 9h00, (febrero / alta nubosidad y baja radiación), en color verde oscuro se observa un índice neutro en la calzada (asfalto) y zonas ligeramente frescas en la aceras (adoquín), este efecto es producido por la exposición solar que incrementa las condiciones térmicas en las zonas sin sombra (abiertas), sin embargo, entre edificaciones (zonas sem-icubiertas / sombra) las condiciones térmicas cambian significativamente (ver gráficos a, b, c y d. En esta simulación E, en todo el día no existe índices (<i>caluroso</i> y <i>ligeramente calurosos</i>) si comparamos con las simulación D; esta condición se produce por la alta nubosidad y baja radiación (febrero) que no permiten el incremento sustancial de los índices PMV a condiciones más cálidas. En el gráfico e, el índice PMV <i>neutro</i> (7h35 / 47,43% de día), no es determinante para incrementar el potencial de confort si analizamos los datos de todo el día, 	



obteniendo la categoría: “Potencial de confort suficiente”, además el índice *fresco* y *frio* con valores altos son condiciones inconfortables para el peatón; sin embargo si únicamente analizamos las horas con mayor uso peatonal a medio día y tarde, los valores del índice *neutro* representa condiciones muy favorables entre (9h30 a 17h00).

CATEGORIA CONFOR TÉRMICO: Potencial de confort suficiente (50% a 66% = 7,5 a 9 horas al día) / ENVIMET: 9h03 y 56,57% /día. Para determinar la categoría de confort revisar el capítulo I, *Indicadores de Sostenibilidad, categorías de confort térmico.*

RESULTADOS 2: Confort térmico- histograma PPD y PMD



- En el histograma a, PPD, de 7h00 a 9h30, baja de 95% a 23% del PPD, a las 11h00 disminuye a 5%, la zona *neutro*, tiene una duración de **7h35 horas**, después de 17h00 a 18h00 se incrementa el porcentaje PPD hasta un 80%; esto confirma que para el peatón las condiciones favorables a lo largo del día (7h00 a 22h00) son limitadas en esta calle en el mes de febrero (con alta nubosidad y baja radiación); sin embargo, son favorables si únicamente tomamos las horas de mayor uso del espacio público.
- En el histograma b, los resultados PMV confirman que la inexistente sombra (arboles) en meses con alta nubosidad-baja radiación, no perjudican sustancialmente el potencial de confort esperado en el día debido a la exposición directa de la calle a la limitada radiación solar producida por la nubosidad (febrero), sin embargo, la limitada radiación no incrementa la temperatura produciendo valores importantes en los índices PMV *fresco* y *frio* (inconfortables para el peatón).

Ilustración 39, Sensación térmica PMV / PPD, calle Lizardo García, (febrero-frío), programa ENVI_met, fuente: elaboración propia

DATO RELEVANTE: En el histograma a % PPD, hay tres periodos (febrero-frío) en que varía el porcentaje de personas insatisfechas en forma extrema, y (9h00 a 10h00), de 10h00 a 17h00 y de 17h00 a 18h00 se incrementa súbitamente el porcentaje a 80% insatisfechos, esto indica que existe un menor stress térmico afectando a las personas en febrero si comparamos con los cinco periodos entremos al día en agosto en las simulaciones A, B y E. Las condiciones de la simulación (febrero mes frío, alta nubosidad y baja radiación), determina la categoría de la vía: “**potencial de confort suficiente**”, esto significa que la calle Lizardo García en febrero tienes las condiciones de confort más desfavorables del año.

CONCLUSIONES, simulaciones D y E.-

Los resultados de la simulación E, representan incrementos importantes en los índices PMV (*neutro* – 7h35) y en (*fresco* – 5h52), en comparación a la simulación D (*neutro* – 3h50 promedio) y (*ligeramente fresco* – 2h37 promedio); concluyendo que en el mes de febrero (alta nubosidad y radiación) no es necesario incorporar zonas arborizadas sombreadas, sin embargo, los datos PMV y PPD de la simulación D (agosto-mes cálido) con temperaturas altas, niveles de radiación que superan los índices internacional en la ciudad de Quito y baja nubosidad, la necesidad de incorporar arborización y zonas de sombra en la vía pública que protejan la radiación incidente, se vuelve una necesidad urgente para mejorar el potencial de confort de la calle Lizardo García (ver Ilustración 40)

En la simulación E (febrero) a diferencia de D (agosto), las variaciones en la frecuencia, longitud y amplitud de onda del (PPD y PMV), nos permiten concluir que en febrero existe un menor riesgo de estrés térmico a las personas comparado con el mes de agosto, ya que existe tres momentos a lo largo del día con condiciones térmicas extremas (ligeramente fresco / neutro / fresco), a diferencia del mes de agosto (cálido) donde existen cinco momentos con índices de sensación térmica extremos y variables en el porcentaje de personas insatisfechas al día. En la simulación E, el índice (**neutro** – 47,33% - 7:35 horas) tiene un incremento considerable de un 23,27% con respecto a la simulación D, esta condición únicamente beneficia al peatón en horas más transitadas entre 10h00 y 17h00.

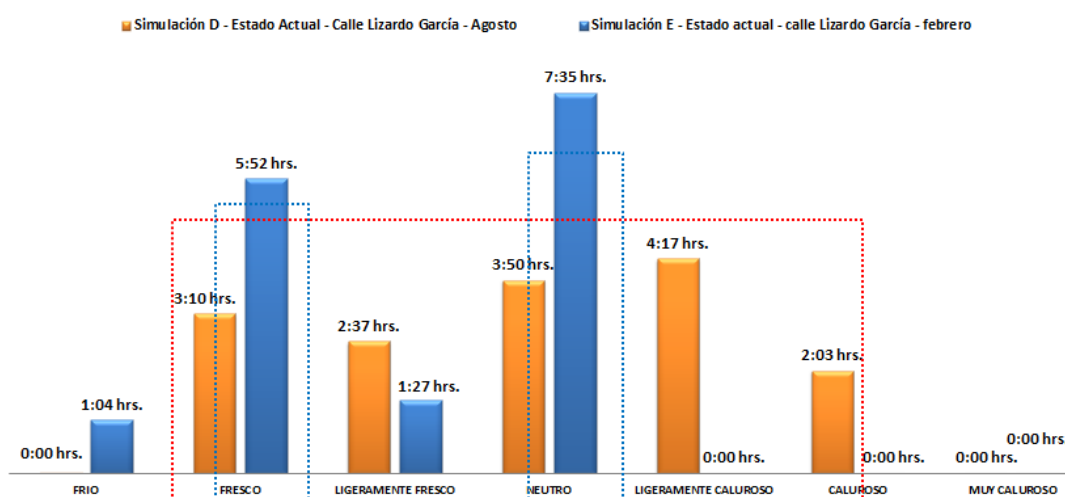




Ilustración 40, comparación sensación térmica y potencial de horas, fuente: elaboración propia

4.3.2 CASO DE ESTUDIO 1, calle Juan Rodríguez.-

Tabla 8, distribución de casos de estudio, simulaciones, estado y mes de modelación, fuente: elaboración propia.

CASOS DE ESTUDIO	SIMULACIONES - AÑO	ESCENARIO	MES – CONDICIÓN CLIMATICA
Caso No. 1	Simulación A , calle Juan Rodríguez, año 1940 – 1980.	ESCENARIO HISTÓRICO	AGOSTO – DIA CALIDO
	Simulación B , calle Juan Rodríguez, año 2017.	ESTADO ACTUAL	AGOSTO - DIA CALIDO
	Simulación C , calle Juan Rodríguez, año 2017.	ESTADO ACTUAL	FEBRERO - DIA FRIO

Ficha 3, evaluación de resultados, SIMULACION A

CASO DE ESTUDIO: 1	CALLE: Juan Rodríguez	SIMULACIÓN: A (cálido)
HORAS DE MODELACIÓN: 7h00 – 22h00	FECHA DE SIMULACIÓN: 1 de agosto / día cálido, baja nubosidad, alta radiación	
CONDICIÓN: Escenario histórico 1940-1980	INDICADOR: Indicador de confort térmico	
INDICE: (PMV-predicted mean vote) y (PPD-predicted percentage dissatisfied (Biomet)	DATOS CLIMATICOS: ECU _ Quito. 840710_IWEC	
MATERIALES: Calle lastrada, acera lastrada, jardines encespados, muros de bloque y tierra, cubierta de teja,	VEGETACIÓN: arboles (Platanus – Acerifolia) / jardines: vegetación baja	
FOTOGRAFÍAS:		
		
<p>Calle Juan Rodríguez, año 1940 – 1980, fuente: (Ponce, 2011) Este escenario considera la características morfológicas, vegetación y materiales de la calle Juan Rodríguez en su contexto histórico (año 1940 – 1980).</p>		
RESULTADOS 1: Gráficos sensación térmica PMV / ENVI_met – Leonardo		
<p>a) SIMULACIÓN - 07h00</p> 	<ul style="list-style-type: none"> En la Ilustración a, de 7:00 – 8:00 h, el índice sensación térmica (ligeramente fresco) se presenta a lo largo de la calle y en los jardines colindantes; esto significa que los espacios de circulación (públicos y privados) a nivel del peatón están en condiciones confortables ligeramente frías pero aceptables; este efecto es producto de la sombra de las edificaciones (2 pisos), orientación favorable de la calle (SE-NO) y por la homeostasis de los árboles (temperatura foliar) que se autorregula para alcanzar condiciones óptimas. 	
<p>b) SIMULACIÓN - 10h00</p> 	<ul style="list-style-type: none"> En la Ilustración b y c, los datos PMV, muestran que la copa de los árboles en el centro de la vía, no generan sombra hacia la calle, producen cambios en índices de sensación térmica que son evidentes si comparamos con la acera pública. En la ilustración d, la calle tiene índices favorables para el confort térmicos: (<i>neutro</i> = 30.38% de y 4h51 día útil); (<i>ligeramente calurosos</i> y <i>ligeramente fresco</i> = 40.55% día útil), y categoría: “<i>potencial de confort bueno</i>”; esto significa que la vía en sus contexto histórico (1940-1980), estaba en condiciones térmicas confortables para el peatón; además los índices (calurosos 3,76% y frio 6%) no son determinantes en el potencial de confort. La arborización 	

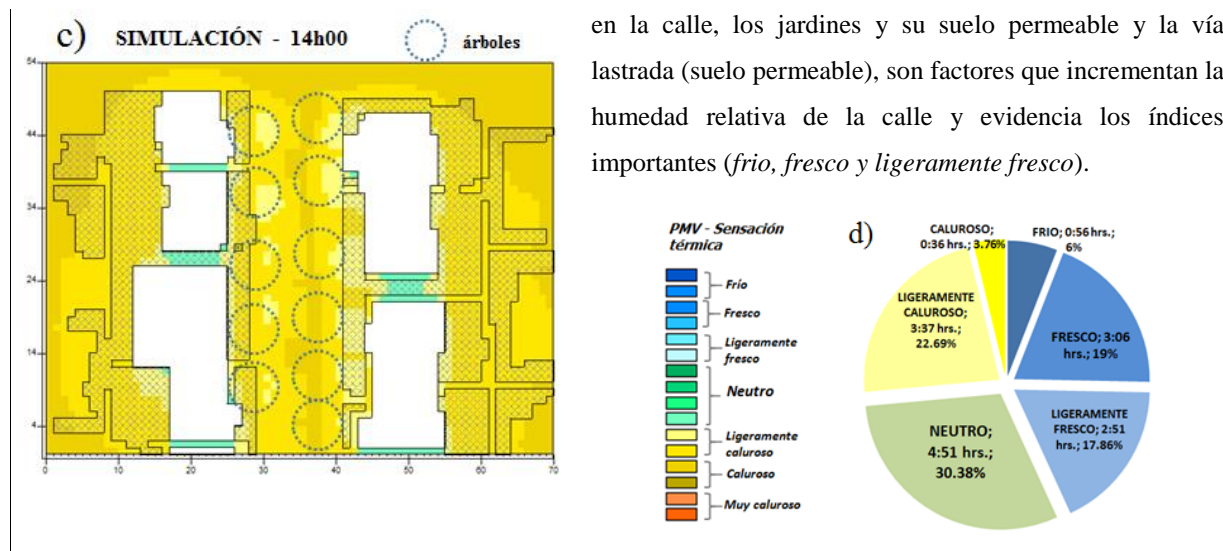
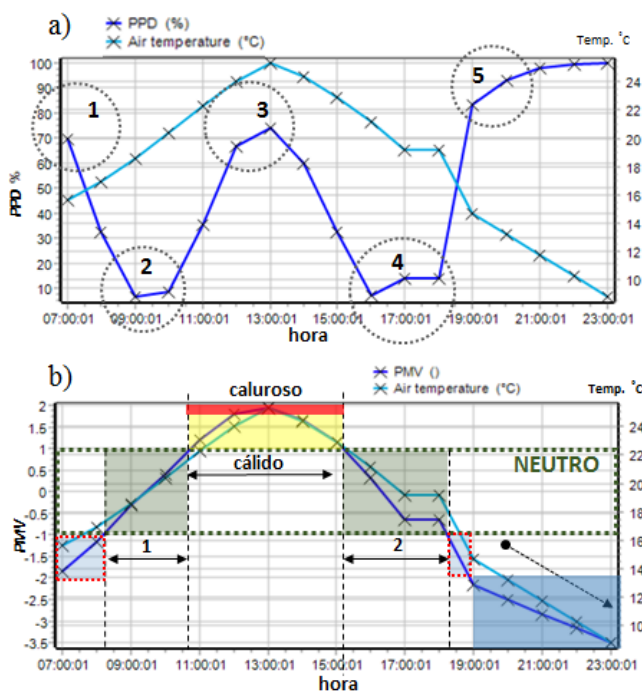


Ilustración 41, Sensación térmica PMV - calle Juan Rodríguez 1940-1980, Simulación A, (mes cálido - agosto), programa ENVI_met, fuente: elaboración propia

RESULTADOS 2: Confort térmico- histograma PPD y PMD



■ **CATEGORIA CONFOR TÉRMICO:** “Potencial de confort bueno” (66% a 80% = 9 a 12 horas al día) /conforme datos del software ENVIMET: 70,93% y 11h20. Para determinar la categoría de confort revisar el capítulo I, Indicadores de Sostenibilidad, categorías de confort térmico.

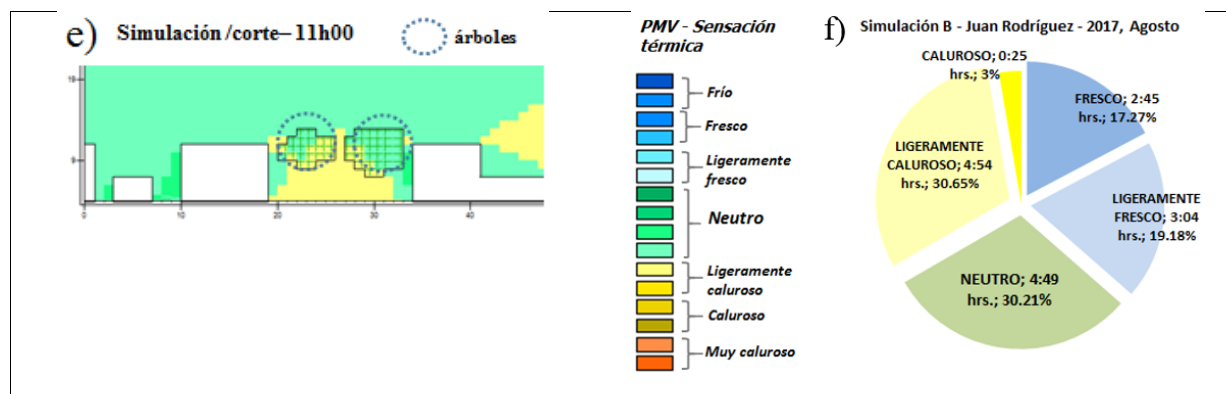
■ En el histograma a, % PPD, existen cinco periodos en el día en que varía el porcentaje de personas insatisfechas cambia en forma extrema, inicia en 70% PPD a las 7h00, 9h00 al 5%, 13h00 - 70%, 17h00 cambia a un 10% y a las 19h00 llega un 80% PPD de insatisfechos, estas condiciones variables indican que existe un ligero stress térmico a lo largo del día afectando a las personas que habitan el sector.

■ En el histograma b), en rojo se puede observar un lapso de tiempo con índice (*caluroso* 36min. y 3.76% día útil esta condición térmica está fuera de los parámetros aceptables, sin embargo, no sustancialmente. En el histograma b, se observan dos lapsos de tiempo en equilibrio térmico (*neutro*), de 8h00 a 10h30 y de 15h00 a 18h00, llegando a un 5% PPD (porcentaje de personas insatisfechas), ver histograma a, estos datos confirman las condiciones favorables de confort de calle Juan Rodríguez en su condición original (1940-1980), los efectos importantes de la vegetación baja y arborización, además de los altos índices de humedad relativa por las zonas permeables.

Elaboración propia

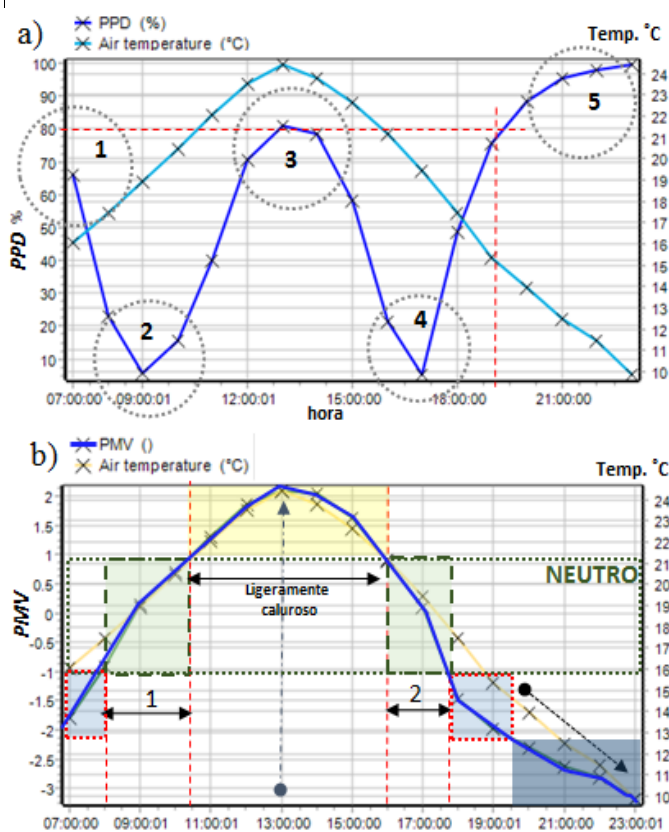
Ficha 4, evaluación de resultados, SIMULACION B

CASO DE ESTUDIO: 1		CALLE: Juan Rodríguez	SIMULACIÓN: B (cálido)
HORAS DE MODELACIÓN: 7h00 – 22h00		FECHA DE SIMULACIÓN: 1 de agosto 2016 / día cálido, baja nubosidad, alta radiación	
CONDICIÓN: Escenario actual - 2017		INDICADOR: Indicador de confort térmico	
INDICE: (PMV-predicted mean vote) y (PPD-predicted percentage dissatisfied (Biomet)		DATOS CLIMATICOS: ECU _ Quito. 840710_IWEC	
MATERIALES: Calle y acera adoquinada, muros de bloque y tierra, cubierta de teja y metálica.		VEGETACIÓN: arboles (Platanus – Acerifolia) / jardines: encementados	
<p>FOTOGRAFÍAS: Fotografía 7, Calle Juan Rodríguez, fuente: (Googlemaps, 2015). Este escenario considera la características morfológicas, vegetación y materiales de la calle Juan Rodríguez en su contexto actual (año 2017).</p>			
RESULTADOS 1: Gráficos sensación térmica PMV / ENVI_met – Leonardo			
<p>a) SIMULACIÓN - 07h00</p> 		<p>b) SIMULACIÓN - 10h00</p> 	
<p>c) SIMULACIÓN - 13h00</p> 		<p>d) SIMULACIÓN - 17h00</p> 	
<ul style="list-style-type: none"> En la Ilustración a, de 7h00 a 8h00, el índice sensación térmica (ligeramente fresco) se presenta a lo largo de la calle y en los jardines colindantes; esto significa que los espacios de circulación (públicos y privados) a nivel del peatón están en condiciones confortables ligeramente frías pero aceptables; esto sucede por la orientación favorable de la calle (SE-NO), poca altura edificada (casas de 2 pisos) y por la homeostasis de los árboles (temperatura foliar) que se autorregula para alcanzar condiciones óptimas. En la Ilustración a, b, c y d, los datos PMV muestran que los árboles generan sombra en toda la calle y parte de los jardines frontales, produciendo condiciones óptimas de confort a lo largo del día. En la ilustración f, la calle tiene índices de confort favorables: (ligeramente fresco, neutro y ligeramente caluroso, = 80,04% del día útil), esto significa que la vía actualmente está en condiciones térmicas muy confortables para el peatón. La arborización existente, los jardines privados (permeables) y la vía adoquinada (alta masa térmica), influyen en los resultados favorables del PMV; además esta categorizada como: "Potencial de confort excelente (> 80% => 12 horas al día)" que confirma lo expuesto. 			



CATEGORIA CONFOR TÉRMICO: Potencial de confort excelente (> 80% => 12 horas al día) /conforme datos del software ENVIMET: 12:48 horas y 80,04% del día útil. Para determinar la categoría de confort revisar el capítulo I, Indicadores de Sostenibilidad, categorías de confort térmico.

RESULTADOS 2: Confort térmico- histograma PPD y PMD



En el histograma a % PPD, existen cinco periodos en el día (agosto-cálido) en que varía el porcentaje de personas insatisfechas en forma extrema, (9h00 a 17h00 cambia de 5% a 80% y regresa 5% de insatisfechos), de 17h00 a 19h00 se incrementa súbitamente el porcentaje a 80% insatisfechos, estas condiciones cambiantes indican que existe un ligero stress térmico afectando a las personas que habitan el sector en esta época del año.

En el histograma b en amarillo se observar un lapso con índice (*ligeramente caluroso* 4h54. y 30,65% día útil), en color verde dos lapsos de en equilibrio térmico (*neutro*), de 8h00 a 10h30 y de 16h00 a 18h00 (4h49 y 30,21% del día) llegando a un 5% de personas insatisfechas; estos datos validan las condiciones favorables de la calle Juan Rodríguez en su condición actual particularmente son más favorables que la simulación A realizada en su contexto histórico (1940-1980).

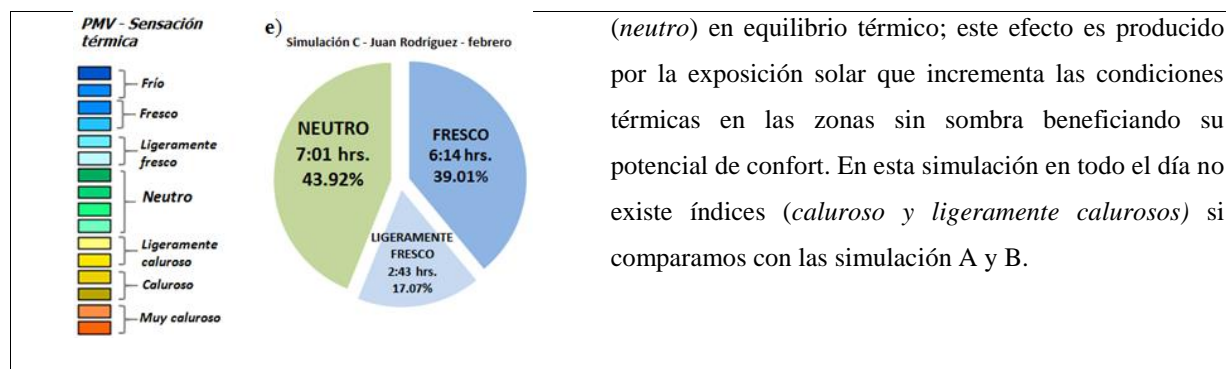
Ilustración 42, histogramas PMV - calle Juan Rodríguez (año 2017), Simulación B, mes cálido (agosto), programa ENVI_met, fuente: elaboración propia.

DATO RELEVANTE: En esta simulación, a diferencia de la anterior simulación A (año 1940-1980 - calle lastrada / permeable), el material superficial en el 100% de la calle es adoquín de hormigón, este responde a la radiación incidente acumulando y cediendo el calor eficientemente debido a su alta inercia térmica incrementando el índice (*ligeramente fresco*) sobre todo en horas de la tarde.

Elaboración propia

Ficha 5, evaluación de resultados, SIMULACION C

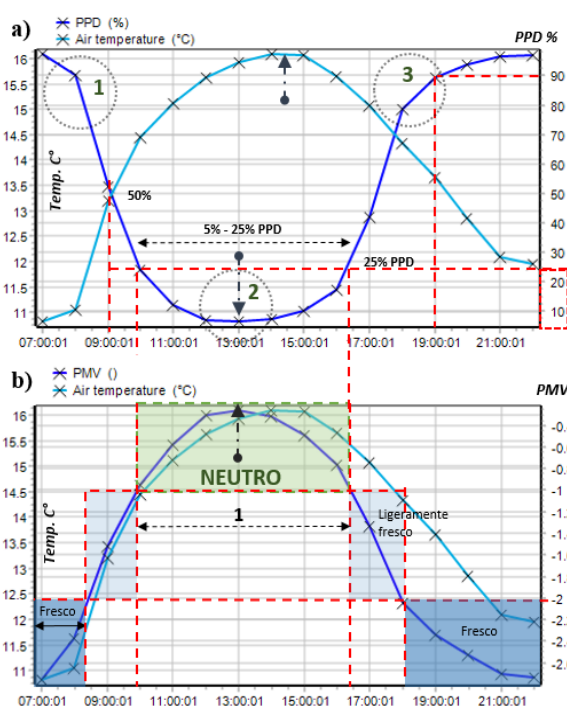
CASO DE ESTUDIO: 1		CALLE: Juan Rodríguez	SIMULACIÓN: C (frío)
HORAS DE MODELACIÓN: 7h00 – 22h00		FECHA DE SIMULACIÓN: 1 de febrero 2017 / día frío, alta nubosidad, baja radiación.	
CONDICIÓN: Escenario actual - 2017		INDICADOR: Indicador de confort térmico	
INDICE: (PMV-predicted mean vote) y (PPD-predicted percentage dissatisfied (Biomet)		DATOS CLIMATICOS: ECU _ Quito. 840710_IWEC	
MATERIALES: Calle y acera adoquinada, muros de bloque y tierra, cubierta de teja y metálica.		VEGETACIÓN: arboles (<i>Platanus – Acerifolia</i>) / jardines: encementados	
FOTOGRAFÍAS: Calle Juan Rodríguez, este Escenario considera las características morfológicas, vegetación y materiales de la calle en su contexto actual (año 2017), en febrero.			
RESULTADOS 1: Gráficos sensación térmica PMV / ENVI_met – Leonardo			
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ En la Ilustración a, b, c y d, los datos <i>PMV</i>, muestran que la copa de los árboles generan sombra en toda la calle parte de los jardines frontales, afectando las condiciones térmicas en toda la superficie de la calzada y acera. ▪ En la ilustración a, de (7h00 a 8h30) el índice <i>PMV</i> (<i>fresco</i>) en color azul afecta a todo el contexto de la simulación (aceras, calzada y jardines privados), con un <i>PPD</i> 90% de personas insatisfechas, esto muestra las condiciones inconfortables muy distintas a las observadas en las simulaciones A y B (agosto-cálido). ▪ En la ilustración c, a las 13h00 se observa que el índice <i>PMV</i> (<i>neutro</i>) en color verde oscuro es predominante en la zona arborizada de la calle, donde no existe arborización el índice cambia a <i>ligeramente fresco</i>, esto representa el efecto importante de la vegetación en los espacios públicos debido principalmente a la sombra arrojada y a la temperatura foliar que autorregula su condiciones térmica. ▪ En la ilustración d, a las 17h00, febrero con alta nubosidad y baja radiación, se producen efectos particulares en la simulación, en la calle arborizada el índice <i>PMV</i> es (<i>ligeramente fresco</i>), en las zonas si arborización abiertas, en color verdes oscuro índice 	



(neutro) en equilibrio térmico; este efecto es producido por la exposición solar que incrementa las condiciones térmicas en las zonas sin sombra beneficiando su potencial de confort. En esta simulación en todo el día no existe índices (caluroso y ligeramente calurosos) si comparamos con las simulación A y B.

CATEGORIA CONFOR TÉRMICO: Potencial de confort suficiente (50% a 66% = 7,5 a 9 horas al día) / 9:45 horas y 60,99% del día útil. Para determinar la categoría de confort revisar el capítulo I, Indicadores de Sostenibilidad, categorías de confort térmico.

RESULTADOS 2: Confort térmico- histograma PPD y PMD



En el histograma a, PPD, de 7h00 a 9h00, baja de 90% a 50% del PPD, a las 10h00 disminuye a 25% a 5%, en la zona neutro tiene una duración de 7h01 horas hasta las 15h30, después se incrementa el porcentaje PPD hasta un 90% a las 19:00; esto confirma que para el peatón las condiciones favorables a lo largo del día (7h00 a 22h00) son limitadas en esta calle en el mes de febrero (con alta nubosidad y baja radiación); sin embargo, son favorables si únicamente tomamos las horas de mayor uso del espacio público.

En el histograma b los resultados PMV confirman que la cobertura de sombra en meses con alta nubosidad-baja radiación no benefician el potencial de confort esperado, debido a que la luz y radiación solar; no incrementa sustancialmente la temperatura en las primeras horas de la mañana y tarde; esto corresponden con la eliminación de los índices (ligeramente caluroso y caluroso) en esta simulación.

Ilustración 43, histogramas PMV - calle Juan Rodríguez (año 2017), Simulación C, mes frío (febrero), programa ENVI_met, fuente: elaboración propia.

DATO RELEVANTE: En el histograma a % PPD, existen tres periodos en el día (febrero-frío) en que varía el porcentaje de personas insatisfechas en forma extrema, (9h00 a 17h00 cambia de 40% a 5% y regresa 40% de insatisfechos), de 17h00 a 19h00 se incrementa súbitamente el porcentaje a 90% insatisfechos, esto indica que existe un menor stress térmico afectando a las personas en febrero si comparamos con los cinco periodos entremos al día en agosto en las simulaciones A y B. Las condiciones de la simulación (febrero mes frío, alta nubosidad y baja radiación), determina la categoría de la vía: “**potencial de confort suficiente**”, esto significa que la calle Juan Rodríguez en febrero tiene las condiciones de confort más desfavorables del año.

CONCLUSIONES, simulaciones A, B Y C.-

- En la simulación C (febrero) a diferencia de A y B (agosto), las variaciones en la frecuencia, longitud y amplitud de onda del (*PPD* y *PMV*), nos permiten concluir que en febrero existe un menor riesgo de estrés térmico en las personas comparado con el mes de agosto ya que existe tres momentos a lo largo del día con condiciones térmicas extremas (*ligeramente fresco / neutro / fresco*) a diferencia del mes de agosto (cálido) analizado donde existen cinco momentos con índices de sensación térmica extremos y variables en el porcentaje de personas insatisfechas en el transcurso del día.
- En la simulación C, el índice (*neutro* – 43,92% - 7:01 horas) tiene un incremento considerable de un 13.54% con respecto a las simulaciones A y B, esta condición beneficia directamente a la vía en sus horas más transitadas por los peatones entre 10h00 y 17h00.
- Entre la simulación A y B (*agosto-cálido*), no existen diferencias notables, sin embargo, con la simulación C (*febrero-frío*) existen cambios notables, este efecto es principalmente producido por la alta nubosidad que influye en la baja radiación incidente en el día.

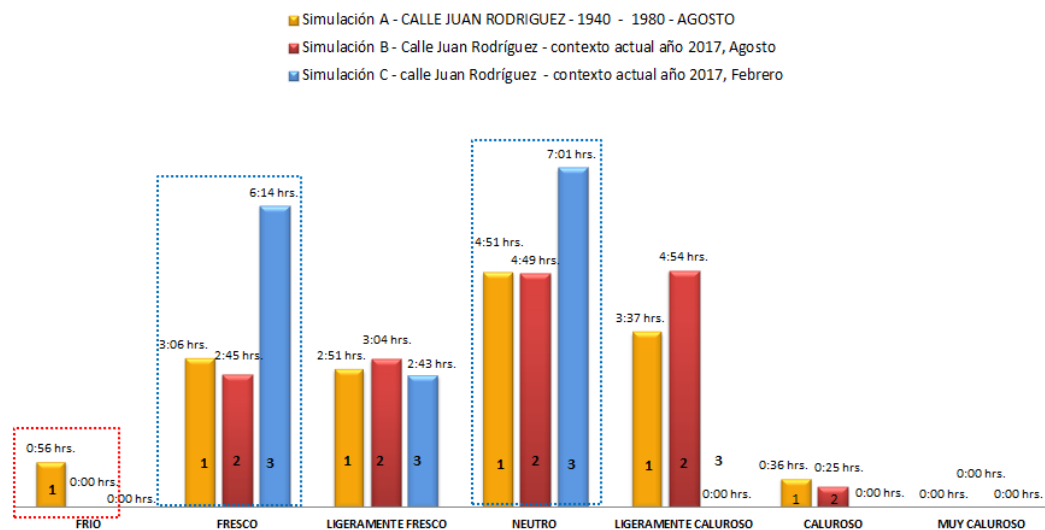


Ilustración 44, comparación sensación térmica y potencial de horas, simulaciones A, B y C, fuente: elaboración propia

Para categoriza el potencial de confort térmico conforme las cinco categorías definidas por la (Agencia d'Ecología Urbana de Barcelona), a continuación se presentan los resultados del caso de estudio 1, simulaciones (A, B y C) calle Juan Rodríguez, éstos son

producto de la sumatoria de los tres índices (*ligeramente fresco/neutro/ligeramente caluroso*) por cada simulación:

Tabla 9, categorías de confort térmico, calle Juan Rodríguez, (Barcelona, 2010), fuente: elaboración propia

CATEGORIAS - CONFORT TERMICO	CASO 1 - Juan Rodriguez		
	SIMULACIÓN A CÁLIDO	SIMULACIÓN B CÁLIDO	SIMULACIÓN C FRIO
	HISTÓRICO 1940-1980	ESTADO ACTUAL	ESTADO ACTUAL
Potencial de confort excelente (> 80%=> 12 horas al día)		12:48 hrs. 80,04%	
Potencial de confort bueno (66% a 80% = 9 a 12 horas al día)	11:20 hrs. 70,93%		
Potencial de confort suficiente (50% a 66% = 7,5 a 9 horas al día)			9:45 hrs. 60,99%
Potencial de confort insuficiente (35% a 50% = 5-7,5 horas al día)			
Potencial de confort en verano muy insuficiente (<35% = <5 horas al día).			

- Los resultados de la Tabla 9, muestran que la simulación B tiene un mayor potencial de confort que las simulaciones A y C, esto es resultado de los efectos favorables de la vegetación expuesta a la alta radiación solar y el material adoquín que utiliza su inercia térmica amortiguando la pérdida de energía acumulada para transferir el calor al ambiente en horas de la tarde y noche.

La simulación C, tiene un *potencial de confort suficiente*, debido a que en el mes de febrero los efectos de las bajas temperaturas, nubosidad elevada y bajos índices de radiación inciden en los resultados de la simulación, además la importante cobertura de sombra no permite el ingreso adecuado de la radiación solar en horas de la mañana y tarde impidiendo que mejoren las condiciones térmicas (ver Tabla 9).

4.4 GENERACIÓN DE ESCENARIOS MEJORADOS.-

En relación al El **CASO 1**, calle Juan Rodríguez, los datos obtenidos en las simulaciones A, B y C, los índice (*PMV*) voto medio estimado y (*PPD*) porcentaje estimado de insatisfechos, histogramas de sensación térmica y los gráficos ENVI_met (*Leonardo*), determinan que existen condiciones muy favorables para los peatones en la vía pública a lo largo de las horas útil del día (7h00 a 22h00), por lo indicado para el CASO 1 no es pertinente desarrollar una propuesta de mejora; en cambio los resultados evidentemente desfavorables del **CASO 2**, calle Lizardo García, determinan elaborar simulaciones

denominada "*propuesta de mejora*" con el fin de evaluar estrategias arquitectónicas y los efectos térmicos que produzcan en los índices de la calle Lizardo García. Estas nuevas simulaciones están determinadas de la siguiente forma:

Tabla 10, Caso de estudio No. 2, calle Lizardo García.

CASO DE ESTUDIO	SIMULACIONES / ENVI_MET	ESCENARIO	MES DE SIMULACIÓN
Caso No. 2	Simulación F, calle Lizardo García, año 2016.	PROPUESTA DE MEJORA	AGOSTO - CALIDO
	Simulación G, calle Lizardo García, año 2016.	PROPUESTA DE MEJORA	FEBRERO - FRIO

Fuente: elaboración propia.

4.4.1 MATRIZ DE EVALUACIÓN, Propuesta de Mejora Caso 2, Lizardo García.-

A continuación se presenta una matriz de evaluación que permita definir cuales estrategias arquitectónicas pueden ser implantadas en las simulaciones del caso de estudio 2, calle Lizardo García, bajo criterios de: viabilidad, costo, tiempo de ejecución, influencia en el entorno y el potencial de confort esperado. Cada estrategia tiene un puntaje unitario de calificación y la sumatoria de valores evaluados establecerá cuales estrategias son las más adecuadas para insertar en las simulaciones F y G, denominadas como "*propuestas de mejora*".

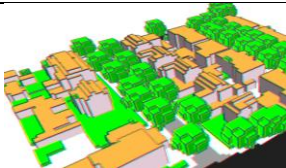
Tabla 11, Matriz de evaluación de criterios en propuesta, calle Lizardo García, elaboración propia.

CRITERIOS	Viable SI = 2 Limitado = 1 No = 0	Estimación del costo Bajo = 3 Medio = 2 Alto = 1	Tiempo ejecución (años) 6 a 12 meses = 3 1 - 2 años = 2 1 - 5 años = 1 5 - 10 años = 0	Influencia en el entorno inmediato (1 a 5)	Potencial de confort esperado (1 a 5)	Calificación
Cambio de asfalto , materiales	1	1	1	1	3	7
Incorporación de arbolado en acera, privados (no monocultivo) variedad de árboles – árboles de copa	2	3	3	3	4	15
Cierre de vía vehicular, solo peatonal	2	1	2	4	1	10
Incorporación de follaje verde en espacios abiertos, uso de Alcorques (protección verdeas)	2	3	2	4	3	14
Mantener cubiertas inclinadas en nuevas edificaciones	1	3	1	1	2	8
Incorporación de componente hídrico, zonas húmedas, piletas en espacio publico/ 1m2 de área permeable por cada árbol.	2	2	2	3	3	12
Generar tejidos urbanos mas compactos, retiro frontales limitados	0	1	0	2	3	6
Eliminación de cerramiento privados hacia el espacio publico	2	3	2	2	3	12

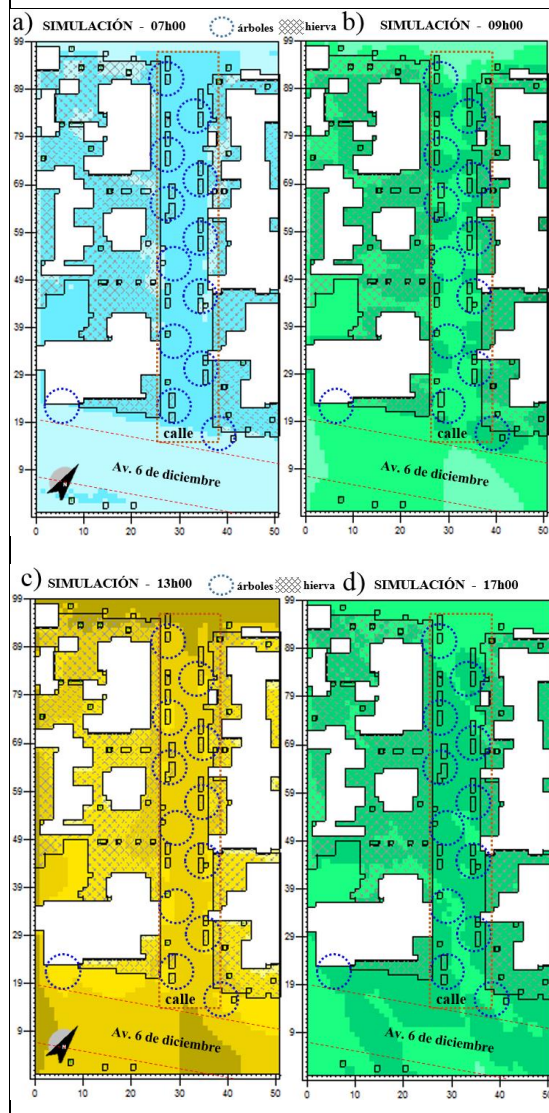
La matriz de evaluación presentada los siguientes resultados sobresalientes: incorporación de arbolado en acera (15), la incorporación de follaje verde en jardines (14), la incorporación de componentes hídricos, zonas húmedas, espacios permeables (12) y la eliminación de cerramientos (12). Estas estrategias seleccionadas se incorporan en las simulaciones F y G en el software *SPACE* - ENVI_met, creando nuevos modelos teóricos presentados a continuación:

4.4.2 ESCENARIOS MEJORADOS, calle Lizardo García, simulación F y G.-

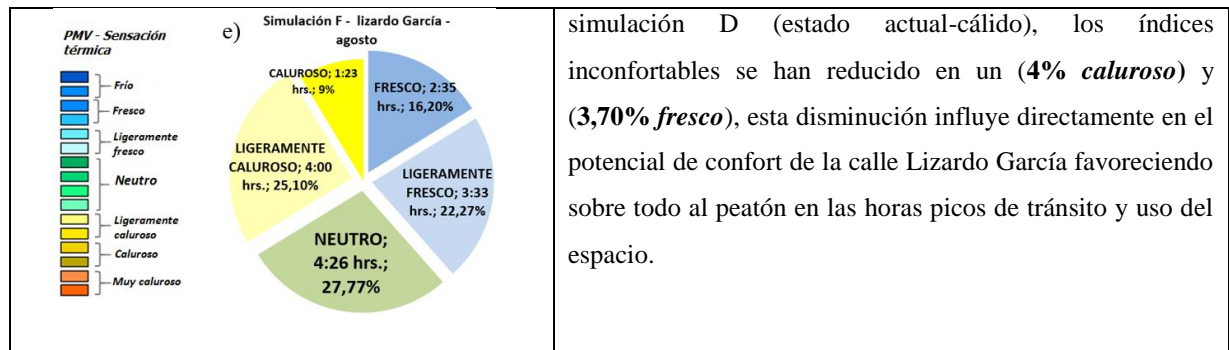
Ficha 6, evaluación de resultados, SIMULACION F

CASO DE ESTUDIO: 2	CALLE: Lizardo García	SIMULACIÓN: F (cálido)
HORAS DE MODELACIÓN: 7h00 – 22h00		FECHA DE SIMULACIÓN: 1 de agosto 2017 / día cálido, baja nubosidad, alta radiación
CONDICIÓN: Propuesta de mejora - 2017		INDICADOR: Indicador de confort térmico
INDICE: (PMV-predicted mean vote) y (PPD-predicted percentage dissatisfied (Biomet)		DATOS CLIMATICOS: ECU _ Quito. 840710_IWEC
MATERIALES: Calle asfaltada y acera adoquinada, eliminación de cerramientos y muros, cubierta de teja y metálica y losas de hormigón armado.		VEGETACIÓN: incorporación de árboles (Platanus – Acerifolia) y jardineras en acera / jardines privados: vegetación y zonas permeables
FOTOGRAFÍAS: Fotografía 8, Calle Lizardo García, caso de estudio 2, este escenario considera las estrategias definidas en la matriz de evaluación para la propuesta de mejora (año 2017-agosto cálido).		

RESULTADOS 1: Gráficos sensación térmica PMV / ENVI_met – Leonardo



- En los gráficos a, b, c y d debido a las estrategias de mejora, en variación de colores, se observa cambios importantes en la sensación térmica PMV de la calle pública arborizada (sombra) y en los jardines (permeables-verdes) privados, esto demuestra cambios importantes en el confort de la calle producida por la incorporación de cobertura verde (permeable) y jardineras en el espacio público si comparamos con los resultados gráficos de la simulación D (estado actual-cálido).
- En los gráficos a, b, c y d la arborización incorporada, las zonas permeables y los muros verdes, determina que este escenario tiene una categoría: **Potencial de confort bueno** (neutro + ligeramente caluroso + ligeramente frío = **75,14%**) el cual se ha incrementado satisfactoriamente (7,86%) con la estrategias realizadas si comparamos con la simulación D (estado actual-cálido: **67,28%**).
- En los gráficos b y d, se observa un índice *Neutro* (verde oscuro), está ligeramente más frío en las zonas permeables y arborizadas si comparamos con zonas abiertas como la Av. 6 de Diciembre (verde claro), esto significa que la humedad producida por la cobertura verde (permeable) disminuye la temperatura produciendo sensaciones ligeramente más frías de confort cuando se está en equilibrio térmico (neutro).
- En el gráfico e si comparamos con los resultados de la

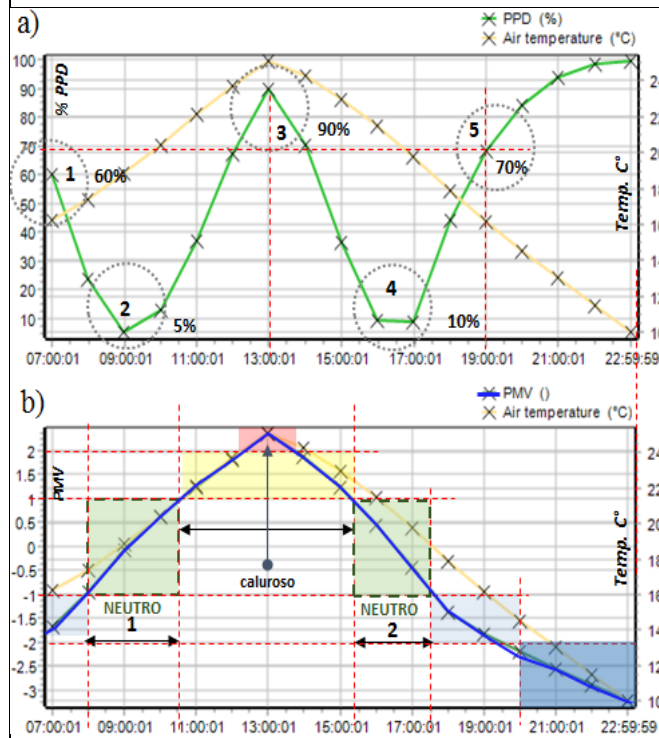


simulación D (estado actual-cálido), los índices inconfortables se han reducido en un (4% caluroso) y (3,70% fresco), esta disminución influye directamente en el potencial de confort de la calle Lizardo García favoreciendo sobre todo al peatón en las horas picos de tránsito y uso del espacio.

En estos gráficos se observa la importancia de analizar la influencia térmica que tiene el contexto edificado y no edificado (jardines-zonas permeables) en la calle pública, produciendo modelos matemáticos más precisos con resultados satisfactorios.

CATEGORIA CONFOR TÉRMICO: Potencial de confort bueno (66% a 80% = 9 a 12 horas al día), conforme datos del software ENVIMET: 12h01 y 75,14% /día.

RESULTADOS 2: Confort térmico- histograma PPD y PMD




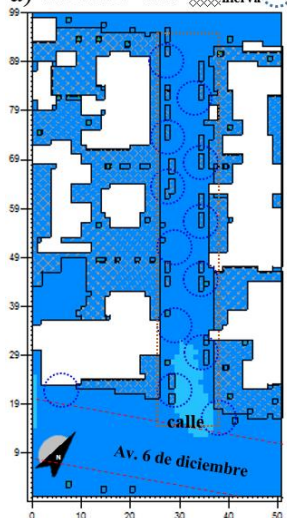

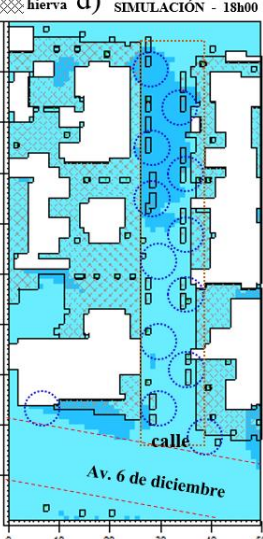
En el histograma a % PPD, existen cinco periodos (agosto-cálido) que varía el porcentaje de personas insatisfechas en forma extrema: (7h00 - 60% PPD), (09h00 - 5% PPD), (13h00- 90% PPD), (17h00 - 10% PPD) y (19h00 - 70% PPD), estas características cambiantes indican un stress térmico afectando a las personas que habitan el sector, sin embargo, todo los valores se han reducido con respecto a la simulación D y confirmando el efecto favorable de las estrategias introducidas en el modelo de simulación.

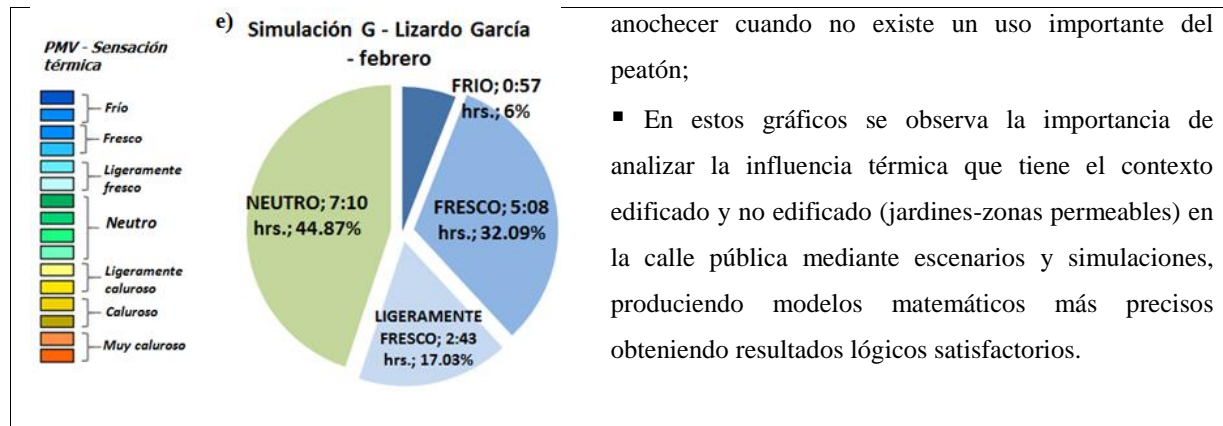
Las estrategias no permitieron elevar a la calle Lizardo García a una categoría más confortable (Potencial de confort excelente), sin embargo, los resultados justifican la utilización de la matriz de evaluación de criterios, que definió soluciones más viables, con menor costo, y que no produzcan cambios considerables en la obra pública ejecutada en la vía.

Histogramas de Sensación térmica PMV / PPD y potencial de horas, calle Lizardo García, mes cálido Agosto, propuesta de mejora programa ENVI_met, fuente: elaboración propia.

DATO RELEVANTE: La homeostasis de los árboles y la vegetación que autorregula la temperatura alcanzando condiciones óptimas de confort y la evapotranspiración que ocasiona enfriamiento, favorecen en la reducción de los índices PMV calurosos y ligeramente caluroso, incrementando potencialmente las condiciones de confort de la calle en agosto (cálido). La vegetación con valores bajos de albedo, absorben la luz solar produciendo calentamiento influyendo favorablemente en los índices (fresco y ligeramente fresco).

Ficha 7, evaluación de resultados, SIMULACION G

CASO DE ESTUDIO: 2		CALLE: Lizardo García	SIMULACIÓN: G (frío)
HORAS DE MODELACIÓN: 7h00 – 22h00		FECHA DE SIMULACIÓN: 1 de febrero 2017 / día frío, alta nubosidad, baja radiación	
CONDICIÓN: Propuesta de mejora – 2017		INDICADOR: Indicador de confort térmico	
INDICE: (PMV-predicted mean vote) y (PPD-predicted percentage dissatisfied (Biomet)		DATOS CLIMATICOS: ECU _ Quito. 840710_IWEC	
MATERIALES: Calle asfaltada y acera adoquinada, eliminación de cerramientos y muros, cubierta de teja y metálica y losas de hormigón armado.		VEGETACIÓN: incorporación de árboles (<i>Platanus – Acerifolia</i>) y jardineras en acera / jardines privados: vegetación y zonas permeables	
FOTOGRAFÍAS: Fotografía 9, Calle Lizardo García, caso de estudio 2, este escenario considera las estrategias definidas en la matriz de evaluación para la propuesta de mejora (año 2017-febrero frío).			
RESULTADOS 1: Gráficos sensación térmica PMV / ENVI_met – Leonardo			
a) SIMULACIÓN - 07h00 		b) SIMULACIÓN - 09h00	
			
c) SIMULACIÓN - 15h00 		d) SIMULACIÓN - 18h00	
			
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ En los gráficos a, b, c y d la arborización incorporada y las condiciones de febrero-frío, determina que este escenario tiene una categoría: Potencial de confort suficiente (<i>neutro + ligeramente caluroso + ligeramente frío = 61,90% PMV</i>), el cual se ha incrementado satisfactoriamente en (5,33% PMV) con la estrategias realizadas si comparamos con la simulación E (estado actual-frío: 56,57% PMV). ▪ En los gráficos c y d, se observa el colores oscuros y ligeramente más frío, los jardines privados (suelo permeables) y la zonas arborizadas si comparamos con zonas abiertas como la Av. 6 de Diciembre (color claro), esto significa que la humedad producida por la vegetación disminuye la temperatura produciendo sensaciones ligeramente más frías. ▪ En el gráfico e si comparamos con los resultados de la simulación E (estado actual-frío), los índices inconfortables se han reducido en un (1% frío) y (4,67% fresco), y el índice confortable PMV <i>ligeramente fresco</i> tiene un incremento importante (7,89 % PMV), esta cambios en la propuesta de mejora influye en mejorar el potencial de confort de la calle Lizardo García, sin embargo, el beneficio parcialmente se da en las primeras horas de la mañana y en al 	

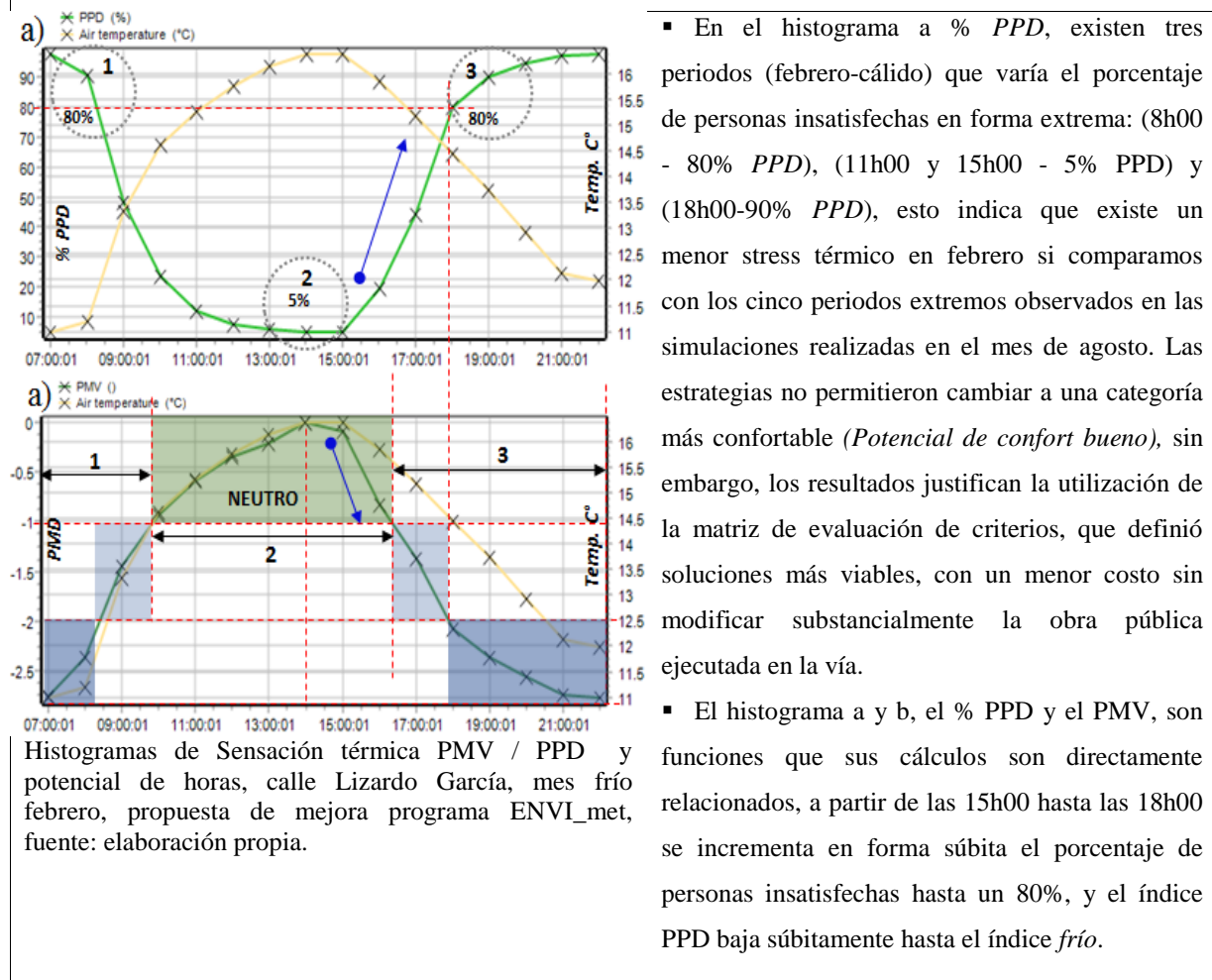


anoecer cuando no existe un uso importante del peatón;

- En estos gráficos se observa la importancia de analizar la influencia térmica que tiene el contexto edificado y no edificado (jardines-zonas permeables) en la calle pública mediante escenarios y simulaciones, produciendo modelos matemáticos más precisos obteniendo resultados lógicos satisfactorios.

CATEGORIA CONFOR TÉRMICO: Potencial de **confort suficiente** (50% a 66% = 7,5 a 9 horas al día), conforme datos del software ENVIMET: **9h54 y 61,90%** /día.

RESULTADOS 2: Confort térmico- histograma PPD y PMD



- En el histograma a % PPD, existen tres periodos (febrero-cálido) que varía el porcentaje de personas insatisfechas en forma extrema: (8h00 - 80% PPD), (11h00 y 15h00 - 5% PPD) y (18h00-90% PPD), esto indica que existe un menor stress térmico en febrero si comparamos con los cinco periodos extremos observados en las simulaciones realizadas en el mes de agosto. Las estrategias no permitieron cambiar a una categoría más confortable (*Potencial de confort bueno*), sin embargo, los resultados justifican la utilización de la matriz de evaluación de criterios, que definió soluciones más viables, con un menor costo sin modificar substancialmente la obra pública ejecutada en la vía.

Histogramas de Sensación térmica PMV / PPD y potencial de horas, calle Lizardo García, mes frío febrero, propuesta de mejora programa ENVI_met, fuente: elaboración propia.

- El histograma a y b, el % PPD y el PMV, son funciones que sus cálculos son directamente relacionados, a partir de las 15h00 hasta las 18h00 se incrementa en forma súbita el porcentaje de personas insatisfechas hasta un 80%, y el índice PPD baja súbitamente hasta el índice *frío*.

- DATO RELEVANTE:** La vegetación de jardines y los árboles con valores bajos de albedo, absorben la luz solar produciendo calentamiento influyendo favorablemente en la reducción de los índices inconfortables PMV (*frío y fresco*), incrementando potencialmente las condiciones de confort de la calle en febrero (frío).

4.5 COMPARACIONES ENTRE ESCENARIOS MEJORADOS.-

En la calle Lizardo García, simulación D (agosto-cálido), los efectos producidos por el asfalto en la calzada (albedo 20%), el adoquín decorativo de hormigón en la acera (albedo 30%) y los jardines encementados de las viviendas además de los componentes con una considerable inercia térmica y conductibilidad calórica, acumulan el calor y la radiación en el día, produciendo un incremento importante en los índices cálidos *PMV*: (*fresco / ligeramente fresco / neutro / ligeramente caluroso / caluroso*), evidenciando la necesidad de realizar propuestas de mejorar en condiciones de confort más favorables para el peatón.

En la calle Lizardo García, si comparamos la simulaciones "*estado actual*" D y E (agosto-cálido) y (febrero-frío), con las simulaciones denominadas "*propuesta de mejora*" F y G (agosto-cálido) y (febrero-frío), determinamos notables incrementos en los *índice sensación térmica PMV confortables* (*neutro, ligeramente caluroso y ligeramente fresco*); decrementos en los índices *PMV inconfortables* (*caluroso y fresco*); demostrando que las estrategias en la propuesta de mejora han sido eficaces incrementado su potencial de confort en un **7,85 %** en (agosto-cálido) y en un **5,33%** en (febrero-frío) (ver Tabla 12).

Tabla 12, categorías de confort térmico, calle Lizardo García, estado actual y propuesta de mejora.

CATEGORIAS - CONFORT TERMICO	ESTADO ACTUAL		PROPUESTA DE MEJORA	
	SIMULACIÓN D CALIDO	SIMULACIÓN E FRIO	SIMULACIÓN F CALIDO	SIMULACIÓN G FRIO
Potencial de confort excelente (> 80% => 12 horas al día)				
Potencial de confort bueno (66% a 80% = 9 a 12 horas al día)	10:45 h 67,28%		12:01 h 75,14%	
Potencial de confort suficiente (50% a 66% = 7,5 a 9 horas al día)		9:03 h 56,57%		9:54 h 61,90%
Potencial de confort insuficiente (35% a 50% = 5-7,5 horas al día)				
Potencial de confort en verano muy insuficiente (<35% = <5 horas al día).				

Fuente: elaboración propia

En la simulación F: (agosto-cálido), los índices *PMV* (**neutro 4h26** horas/día) y (**fresco 2h35** horas/día), y los datos de la simulación G (febrero-frío): (**neutro 7h10** horas/día) y (**fresco 5h08** horas/día), nos permite concluir que en el mes de febrero no es una necesidad incorporar zonas arborizadas sombreadas, sin embargo, en el mes de agosto con

temperaturas extremas, niveles de radiación que superan índices internacional en la ciudad de Quito, la necesidad de incorporar arborización y zonas de sombra en la calle que protejan la radiación incidente es una necesidad inmediata (ver Ilustración 45).

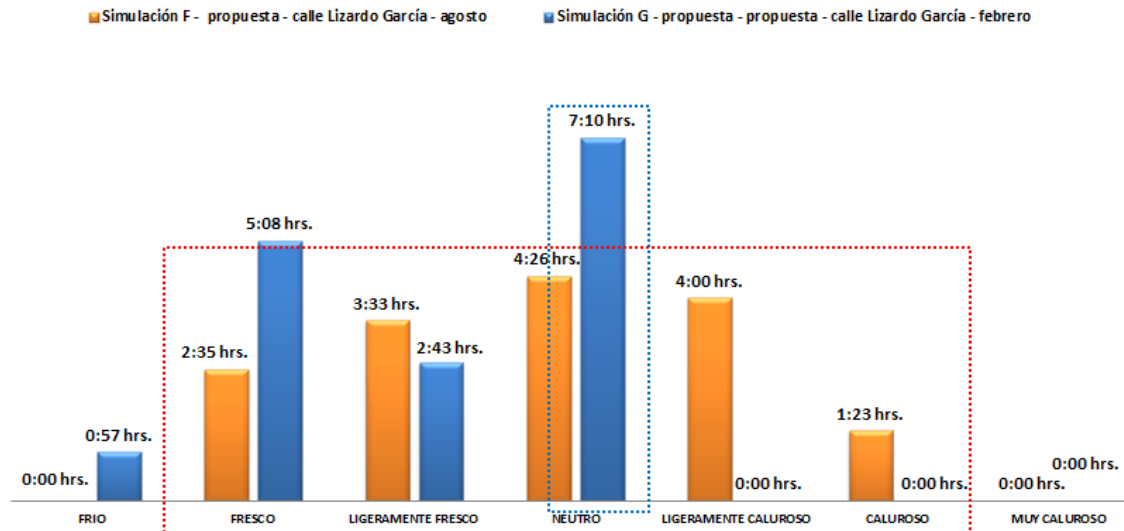


Ilustración 45, potencial de horas de confort por índice de sensación térmica PMV, fuente: elaboración propia

En las simulaciones F y G, el asfalto y adoquín que cubren la mayor parte de la superficie de la vía (acera y calzada), son materiales que influyen considerablemente en el potencial de confort y determina la categoría, además estos materiales tiene inercia térmica y bajos valores de albedo que acumulan calor incidente influyendo en los efectos de la isla de calor urbana.

Los resultados en la

Tabla 12, muestran que la simulación F (propuesta de mejora / agosto-cálido / *potencial de confort bueno - PMV 75.14%*), existe un mayor potencial de confort con los datos de la simulación G (febrero-frío / *potencial de confort insuficiente - PMV 61,90%*), esto sucede debido a que los efectos térmicos de las estrategias implantadas en la simulación son más eficaces en condiciones de baja nubosidad y altos niveles de radiación.

4.6 CONCLUSIONES CASOS 1 Y 2.-

En la Tabla 13, simulaciones A y B, la calle Juan Rodríguez tienen las categorías con el mayor potencial de habitabilidad térmica si comparamos con el resto de simulaciones, esto significa que la arborización existente (*Platanus Acerifolia*), adoquín de hormigón en la calle (masa térmica), las edificaciones inventariadas con jardines y las cubiertas inclinadas que producen más horas de sombra, en conjunto influyen favorablemente en la categoría confortables y nos permiten concluir que son las mejores estrategias de confort en los casos 1 y 2.

Tabla 13, CASOS DE ESTUDIO 1 Y 2 – cuadro comparativo potencial de confort térmico, fuente: elaboración propia

CASOS DE ESTUDIO 1 Y 2- POTENCIAL DE CONFORT TERMICO							
CATEGORIAS - CONFORT TERMICO	CASO 1 - Juan Rodríguez			CASO 2 - Lizardo Garcia			
	SIMULACIÓN A CÁLIDO	SIMULACIÓN B CÁLIDO	SIMULACIÓN C FRÍO	SIMULACIÓN D CÁLIDO	SIMULACIÓN E FRÍO	SIMULACIÓN F CÁLIDO	SIMULACIÓN G FRÍO
	HISTÓRICO 1940-1980	ESTADO ACTUAL	ESTADO ACTUAL	ESTADO ACTUAL		PROPUESTA DE MEJORA	
Potencial de confort excelente (> 80% => 12 horas al día)		12:48 hrs. 80,04%					
Potencial de confort bueno (66% a 80% = 9 a 12 horas al día)	11:20 hrs. 70,93%			10:45 hrs. 67,28%		12:01 hrs. 75,14%	
Potencial de confort suficiente (50% a 66% = 7,5 a 9 horas al día)			9:45 hrs. 60,99%		9:03 hrs. 56,57%		9:54 hrs. 61,90%
Potencial de confort insuficiente (35% a 50% = 5-7,5 horas al día)							
Potencial de confort en verano muy insuficiente (<35% = <5 horas al día).							

Si comparamos todas las simulaciones (caso 1 y 2), el escenario con la categoría de confort térmico más favorable es la **simulación B** – Juan Rodríguez (*potencial de confort excelente*), esto representa que las características arquitectónicas, morfológicas, los materiales de la calle, los jardines, las zonas permeables y la arborización son elementos determinantes el mejorar el potencial de la calle, estas pueden ser incorporados en las zonas en condiciones inconfortables; aun cuando existe elementos similares como son: la arquitectura, orientación, altura de edificación, la proporción de la vía y la ubicación geográfica, los datos de las simulaciones demuestran diferencias notables de confort.

Dentro el caso de estudio 2, simulaciones F y G, demuestran que es posible mejorar e incrementar el potencial de confort en forma eficiente sin que la autoridad pública deba realizar grandes inversiones económicas en la vía pública o cambios normativos de ordenanza municipal en los espacios privados y sus límites.

Los datos climáticos son proporcionados por el programa (Climate Consult - *ECU_Quito.840710_IWEC*), y los valores sobre índices de radiación son calculados por el software ENVI_met, sin embargo, los niveles de radiación, que son factores determinantes, en futuras investigaciones deben ser datos mediables mediante aparatos de precisión en las proximidades de los casos de estudio para poder obtener resultados más precisos de la calle analizada.

En la planificación urbana, si planteamos la reubicación los ejes principales de movilidad urbana en la ciudad de Quito mediante investigaciones sobre el potencial de confort térmico, estas estrategias permite recuperar espacios definidos como bulevares de tránsito peatonal incentivan las conexiones entre distintos espacios de la ciudad sobre todo en agosto-cálido.

Si buscamos estrategias para mejorar en forma eficiente, el potencial de confort y habitabilidad térmica que tiene una calle, incrementar la vegetación, arborizar las zonas aledañas e incorporar zonas permeables en los espacios públicos y privados representan las mejores soluciones y las más efectivas conforme los resultados de los casos analizados.

En todas las simulaciones en (agosto-cálido) con baja nubosidad y altos niveles de radiación, se observan en los histogramas PPD que existen cinco lapsos de tiempo con extremos porcentajes de personas insatisfechas, esto es resultado de los cambios de temperatura a lo largo del día, produciendo un sutil estrés térmico a los residentes y habitantes del sector.

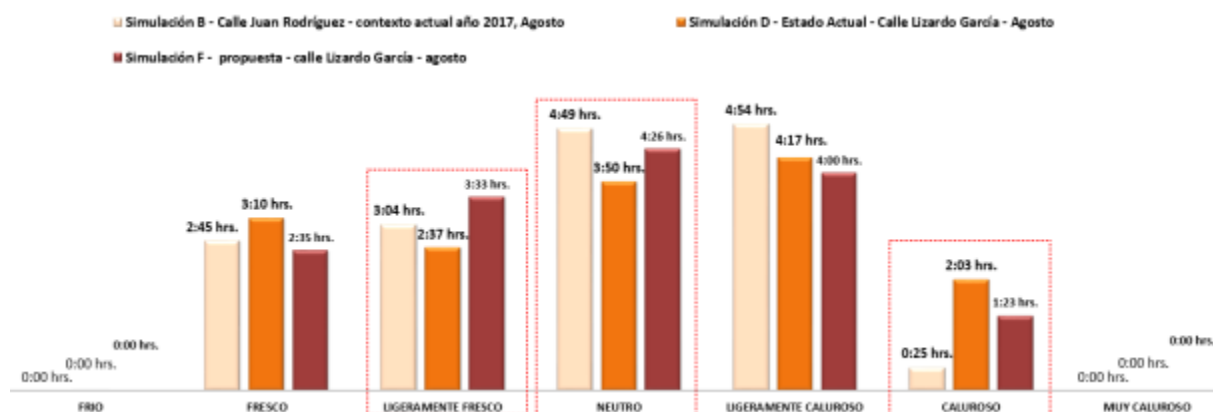


Ilustración 46, comparativo, potencial de confort, casos de estudio 1 y 2, calle Juan Rodríguez y Lizardo García, mes cálido agosto, fuente: elaboración propia

En la Ilustración 46, propuesta de mejora (simulación F), reduce sustancialmente los índices PMV (*calurosos, ligeramente caluroso y fresco*); en la simulación D los índices (*ligeramente caluroso y neutro*) que determinan el potencial óptimo de confort del ser humano se incrementan, estos cambios son determinantes en validar que las estrategias de la matriz de evaluación instauradas en la simulación fueron adecuadas, la vegetación permite contrarrestar los efectos de los microclimas urbanos en forma muy eficiente.

La simulación B, calle Juan Rodríguez, tiene los índices de sensación térmica PMV *s* que sobresalen sobre los resultados de los otros escenarios (*neutro y ligeramente calurosos*), además se observa una reducción importante de la condición térmica PMV (*caluroso en 25 min.*), estos valores nos permiten es determinante concluir que este escenario tiene condiciones excepcionales.

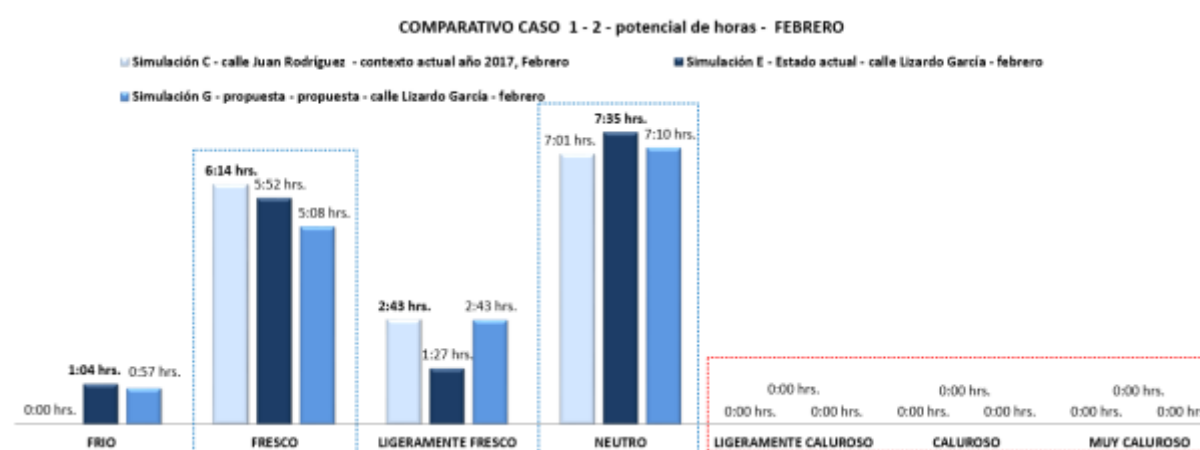


Ilustración 47, comparativo, potencial de confort, casos de estudio 1 y 2, calle Juan Rodríguez y Lizardo García, mes frío febrero, fuente: elaboración propia

La Ilustración 47, simulaciones C, E y G (febrero-frío), no se aprecian índices de sensación térmica PMV (*ligeramente caluroso y calurosos*) en todas las simulaciones realizadas, este se debe a que el día de la simulación es en febrero con mayor % de cobertura de nubosidad, con la menor radiación y solar, y con las más bajas temperaturas registradas a lo largo del día.

CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Los índices de confort en el espacio público actualmente están en desarrollo, depende de condiciones: acústicas, lumínicas y térmicas que inciden en las sensaciones de confort percibidas del ser humano y su respuesta fisiológica.

Otros estudios demuestran que si bien es cierto, los factores climáticos influyen en los niveles de confort, en algunos casos las personas responden en forma intuitiva a la selección de los espacios donde prefieren habitar y transitar, así estos no tengan condiciones favorables y un potencial excelente de habitabilidad térmica.

La vegetación en la ciudad no sólo tiene una función ornamental, es un regulador de los efectos producidos por la isla de calor urbana y las diversas agresiones ambiental, esto lo hace manteniendo la humedad del suelo, limitando la evaporación del agua en los suelos, constituye un filtro contra la contaminación y representa un excelente regulador del intercambio de aire, calor y humedad con el entorno urbano. Los árboles ayudan a mantener el equilibrio ecológico y la biodiversidad, limitan la erosión del suelo, mantiene la humedad ambiental e influyen en las variaciones del tiempo y en el clima.

El software ENVI_met, analizan los microclimas urbanos en forma holística (múltiples interacciones en el mismo modelo), permitiendo analizar los efectos de todos los elementos que influyen en los casos de estudio, sin embargo, para investigaciones futuras se deben analizar los procesos físicos del suelo (humedad y temperatura superficial), los estereológicos (generación de turbulencias en el ambiente), la química atmosférica (dispersión de contaminantes urbanos) y además botánica (transpiración de las plantas), que pueden determinar resultados más precisos en el análisis de las ciudades mediante simulaciones.

Las investigaciones sobre el desarrollo y funcionamiento del software ENVI_met, indican que esta herramienta dinámica muestra los efectos producidos por la vegetación en la climática urbana eficientemente, sin embargo, esta herramienta de análisis no permite evaluar los efectos que generan los elementos físicos urbanos en las plantas y su vitalidad, esta dualidad sería determinante en la investigación y conservación de los ecosistemas urbanos en el futuro.

La aplicación del Índice PMV Y PPD, (*PMV-predicted mean vote*) voto medio estimado y (*PPD-predicted percentage dissatisfied*) porcentaje de personas insatisfechas, basados en el modelo de Fanger (1972), ISO 7730, en condiciones exteriores puede ser discutible, debido a que son modelos son valores e índices estacionarios, y en este modelo depende únicamente de la actividad de las personas en el espacio públicos.

La metodología utilizada y la herramienta de modelación representan una nueva estrategia de estudio y análisis de las condiciones térmicas del espacio públicos, y los resultados de pueden ser determinantes para definir políticas de intervención más austeras en las vías o calles públicas con índices extremos de sensación térmica.

Es fundamental que en el Ecuador, considerando la radiación extrema, se realice una planificación urbana analizando detenidamente los niveles de confort térmico en el espacio público ya que en la actualidad los índices y niveles de radiación atmosférica en nuestra ciudad siguen incrementando súbitamente, afectando considerablemente la salud de todos los ciudadanos.

Esta investigación utilizó como punto de partida la tesis doctoral de la investigadora Cynthia Echave, "*Ver des de la Ciudad, Potencial de habitabilidad térmica en espacios urbanos*", la cual analiza el potencial de confort del espacio público, sin embargo en esta investigación se construyó una metodología diferente y específica para los casos de estudio en Quito aplicando nuevas herramientas tecnológicas, definiendo nuevos parámetros de evaluación y produciendo modelos de simulación como tablas, histogramas y resultados gráficos que permitieron resolver las interrogantes de la investigación.

Considerando la hipótesis planteada en esta investigación, la evaluación realizada en los casos de estudio sobre: el potencial de confort térmico, las categorías de confort y los índices de sensación térmica (PMV y PPD) de cada caso de estudio en La Mariscal-Quito, permitió establecer resultados claros del comportamiento térmico de los elementos urbanos y los efectos favorables al introducir vegetación en las propuesta de mejora produciendo incrementos favorables en cada uno de los índices inconfortables confortables.

El cambio climático es un problema mundial, sin embargo, existen fuertes evidencias que los efectos se ya se observan particularmente en el Ecuador, los cambios en los periodos de lluvias, el incremento de temperatura media a nivel nacional, los efectos de la isla de calor urbana, la radiación extrema etc., están influyendo en forma directa en la salud pública de la población revelando que nuestro país no está preparado para los cambios que van a darse. Esta investigación demuestra que es posible medir mediante una herramienta de simulación el efecto que producen las estrategias verdes y de bajo costo en el confort térmico, para finalmente incrementar el potencial de habitabilidad térmica en los espacios públicos.

Acorde con la hipótesis plateada en esta investigación, si fue posible evaluar el indicador de confort térmico, mediante la creación de modelos de simulación (Envi_met) de las calles Juan Rodríguez y Lizardo García de la ciudad de Quito, estableciendo características particulares, resultados y comportamientos térmicos que categorizan a las vías analizadas conforme sus condiciones térmicas.

Esta investigación cumplió con el objetivo general planteado, evaluando el confort térmico de la calle desarrollando una metodología que utiliza modelaciones, índices de sensación térmica y categorías que permiten determinar el potencial de confort térmico por tramo de calle.

Para futuras investigaciones que analicen las condiciones del confort térmico de espacios públicos tipo calle, con la aplicación del software Envi_met, es pertinente utilizar otros índice internacionales que analiza esta herramienta (Biomet) como son: **PET** (*Physiological Equivalent Temperature*), el **UTCI** (*Universal Thermal Climate Index*) y el **SET** (*Standard Effective Temperature*); los cuales evalúan las mismas condiciones exteriores permitiendo validar y complementar los resultados encontrados en esta investigación.

Esta tesis represento la base científica para la construcción de un artículo denominado: "*Vegetation as a potential tool for improving thermal comfort and exposure to solar radiation in the streets of Quito*", el cual fue aceptado y será presentado en el congreso internacional PLEA 2018, organizado por la Universidad de Hong Kong, del 10 al 12 de octubre del año 2018 en la ciudad de Hong Kong.

Bibliografía

- Acero, J. A. (2016). *Influencia de la vegetación en la calidad del aire y el clima urbano, Tecnalia*. Obtenido de conam10, CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE: <http://www.conama10.es/>
- Agencia d'Ecología Urbana de Barcelona. (s.f.). Sistema de indicadores y condicionantes para ciudades grandes y medianas. 2016. Barcelona, España. Recuperado el 12 de 01 de 2017, de http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/3093A86A-128B-4F4D-8800-BE9A76D1D264/111504/INDI_CIU_G_Y_M_tcm7177731.pdf
- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona - Sevilla. (2008). *Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla*. Sevilla: Servicio Observatorio de Sostenibilidad Urbanística.
- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. (2008). *Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla*. Sevilla: Servicio Observatorio de Sostenibilidad Urbanística.
- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. (Diciembre de 2009). PLAN DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD URBANA DE VITORIA-GASTEIZ. VITORIA-GASTEIZ, España.
- ASHRAE. (2001). *INTERNATIONAL WEATHER FOR ENERGY CALCULATIONS (IWEW WEATHER FILES)*. Unite States: IWEW weather files and associated documentation.
- ATLAS. Secretaría de Ambiente. (2016). *Atlas Ambiental Quito Sostenible 2016. Municipio de Quito*. Quito: Dirección editorial y Dirección de arte, CTT USFQ. Obtenido de ATLAS AMBIENTAL 2016.
- AZTLM. (1 de Agosto de 2016). Archivos Administración Zonal Turística "La Marsical". Quito, Pichincha, Ecuador.
- Barcelona, A. d. (25 de Noviembre de 2010). Indicadores. *Sistema de indicadores y condicionantes para ciudades grandes y medianas*. Barcelona, España.
- Bojórquez Morales, G. (Junio de 2010). Confot térmico en exteriores: actividades en espacios recreativos, en clima cálido seco extremo. Coquimaltán, Colima, Mexico.
- Bruse, M. (2017). ENVI_met System V4.2.0 Summer17 . 45136 Essen, Kaninenberghöhe 2, Germany.
- Carreras, M. (1990). *Modificaciones térmicas en las ciudades, Avance sobre la isla calor en Barcelona*. Barcelona.
- Centro de Noticias, ONU. (10 de Julio de 2014). *Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales*. Obtenido de <http://www.un.org/es/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>
- CLIMATE CONSULTANT. (3 de Septiembre de 2014). CLIMATE CONSULTANT 5.5 BUILT 5, UCLA ENERGY DESIGN. Southern California , CALIFORNIA, Estados Unidos.
- Concejo Metropolitano de Quito. (2011). Plan de Desarrollo 2012-2022, DMQ. Quito, Pichincha, Ecuador.
- DMDU - STHV. (2014). *"Ciudades Del Buen Vivir, Quito Hacia Un Modelo Sustentable: Red Verde Urbana Y Ecobarrios"* Vivienda, Dirección Metropolitana de Desarrollo

- Urbanístico y Secretaria de Territorio Hábitat y Vivienda*. Quito, Pichincha, Ecuador: Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.
- Echave, C. (Febrero de 2007). Ver des de la Ciudad. *Ver des de la Ciudad, Potencial de habitabilidad tèrmica en espacios urbanos*. Barcelona, Cataluña, España.
- ECUAVISA. (1 de Diciembre de 2014). *ECUAVISA.COM*. Obtenido de <http://www.ecuavisa.com/articulo/noticias/nacional/90697-monumentos-olvidados-que-habitan-capital-ecuatoriana>
- ENVI-met. (22 de Julio de 2017). *www.envi-met.com*. Recuperado el 24 de Abril de 2017, de ENVI-met: http://www.envi-met.com/innovation#holistic_approach
- Fanger, P. O. (1972). "Thermal Confort". *NTP 74: Confort tèrmico - Método de Fanger para su evaluación*. Mc Graw Hill, New York, 1972.
- Fariña, J. (2013). *Manual de Diseño Bioclimático Urbano*. Braganza Portugal: Agencia Estatal de Meteorología, Portugal.
- Feria, J. M. (2000). INDICADOR DE SOSTENIBILIDAD: UN INSTRUMENTOPARA LA GESTION URBANA. *INDICADOR DE SOSTENIBILIDAD: UN INSTRUMENTOPARA LA GESTION URBANA*. Universidad de Huelva.
- Fuentes, C. (2014). Islas de calor urbano en Tampico, México. *Nova Cientia*, 496-515.
- GNUPLOT. (Enero de 2015). *Gnuplot homepage*. Obtenido de www.gnuplot.info
- Googlemaps. (2015). *Google maps*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2015, de <https://www.google.com/maps/@-1.03409,-80.46286,15z/data=!3m1!1e3?dg=dbrw&newdg=1>
- La Hora. (25 de Agosto de 2016). Cuidado con el sol fuerte, causa cancer de piel. *la Hora*.
- LACOMBA, H. (1991). Manual de Arquitectura Solar. En *Manual de Arquitectura Solar* (pág. Cap 5 Geometria solar). Mexico Trillas.
- Lamiña, J. A. (14 de Julio de 2016). La resiliencia urbana, el reto de la ciudad del futuro. Quito, Pichincha, Ecuador: Casa de la Cultura Ecuatoriana Benjamín Carrión.
- Lamiña, J., & Jácome, D. (julio de 2016). Desayuno Urbano de Habitat III. *La Resiliencia Urbana, el reto de la ciudad del futuro*. Quito.
- Llactalab. (2015). *LA CIUDAD ES ESTO, Medición y representación espacial para ciudades compactas y sustentables*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Lohan, J. (06 de 2012). *Causas islas de calor*. Obtenido de <http://islasdecalor.blogspot.com/2012/06/causas-de-las-islas-de-calor.htm>
- Mas, D. (2015). *Ergonautas*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/fanger/fanger-ayuda.php>
- MDMQ, P. O. (30 de 12 de 2011). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Pdf.
- MDMQ-NAU. (Agosto de 2013). Anexo Normas de Arquitectura y Urbanismo. *Anexo Ordenanza 432-172 Normas de Arquitectura y Urbanismo*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- MDMQR-A012. (24 de Octubre de 2014). RESOLUCION A 012 PLAN DE GESTION PARA LA ZONA. *PLAN DE GESTION PARA LA ZONA*. Quito, Pichincha, Ecuador: Consejo Metropolitano de Quito.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) / Subsecretaría de Hábitat y Asentamientos Urbanos. (s.f.). REVITALIZACIÓN DEL CENTRO HISTÓRICO.

- "REVITALIZACIÓN DEL CENTRO HISTÓRICO" MIDUVI, Dirección Provincial de Pichincha. Quito, Pichincha, Ecuador.*
- Musco, F. (2016). *Counteracting Urban Heat Island Effects in a Global Climate Change Scenario*. Venice: Department of Design and Planning in Complex Environments.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2017). *ncdc.noaa.gov*. Obtenido de World Weather Records 9th Series 1991-2000:
https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/wwr/documents/South-America/WWR_1991-2000_tables.txt
- NOAA. (8 de Junio de 2015). *NOAA - National Center for Environmental information*. Recuperado el 26 de Mayo de 2016, de <https://www.ncdc.noaa.gov/indicators/>
- Olgay, V. (1963). *"The Bioclimatic Chart"*.
- Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla*. (2008).
- Ponce, A. (2011). *La Mariscal historia de un barrio moderno en Quito S. XX*. Quito: Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.
- Ponce, A. (2011). *La Mariscal, historia de un barrio moderno de Quito en el siglo XX*. Quito: Instituto Metropolitano de Patrimonio.
- Proaño, R., & Pozo, S. (25 de Julio de 2016). DOCUMENTOS DE RESPALDO, INVESTIGACION HABITAT III. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Secretaria de Ambiente. (2016). MANUAL TECNICO DE ARBOLADO URBANO, MDMQ, JORGE POLO ABAD. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Secretaria de Ambiente. (16 de Marzo de 2016). RESOLUCION NO. SA-PN-2016-001. *RESOLUCION DE PROTECCION DEL ARBOLADO PÚBLICO*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Shaftel, H. (20 de Mayo de 2016). *NASA, Global Climate Chance*. Recuperado el 26 de Mayo de 2016, de <http://climate.nasa.gov/causes/>
- Simon, H. (Marzo de 2016). Modeling urban microclimate, Development, implementation and evaluation of new and improved calculation methods for the urban microclimate model ENVI-met. *Dissertation zur Erlangung des Grades Doktor der Naturwissenschaften\ im Promotionsfach Geographie*. Mainz, Alemania.
- Solla, N. M. (2007). *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura*. Barcelona: Editoria Reverté.
- Toparlar, Y. (2014). CFD simulation and validation of urban microclimate: A case study for Bergpolder Zuid, Rotterdam. *ELSEVIER*, 12.
- Toparlar, Y. (2016). Computational analysis of an urban park's impact on the Antwerp microclimate. *FICUP An International Coference on Urban Physics*, (pág. 12). Quito.
- Vivero, J. G. (Agosto de 2011). Evaluación microclimática por cambio de uso de suelo en la Ciudad de México utilizando el modelo ENVI-met. Xalapa-Equez., Veracruz, Mexico.
- Vogt, J. (2008). *Islas de Calor en Zonas Urbanas: Ciudades Más Calientes*.
- Zambrano-Barragán, C. O. (2011). *Quito's Climate Change Strategy: A Response to Climate Change in the Metropolitan District of Quito, Ecuador*. Quito.

ANEXOS

ANEXO 1, Cuadro requerimientos mínimos y resultados indicador de confort térmico, tejidos centrales, medios y residenciales. Fuente: (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2009)

VITORIA-GASTEIZ		SUPERFICIE VIARIO	
Objetivo mínimo:	Criterio:	> 50% hrs de confort	
	Cobertura:	> 50%	
Deseable:	Criterio:	> 50% hrs de confort	
	Cobertura:	> 75%	











TEJIDOS URBANOS		T. CENTRAL	T. MEDIO	T. RESIDEN.
Objetivo mínimo:	Criterio:	> 50% hrs de confort		
	Cobertura:	> 75 %	>60%	>50%
Deseable:	Criterio:	> 80% hrs de confort		
	Cobertura:	>50 %		









Resultados: Confort térmico

CIUDAD. VITORIA-GASTEIZ

	Requerimientos mínimos		Resultado alcanzado	
	hrs de confort	SUP.	SUP.	
	%	%	%	
VITORIA-GASTEIZ	>50%	50%	70%	

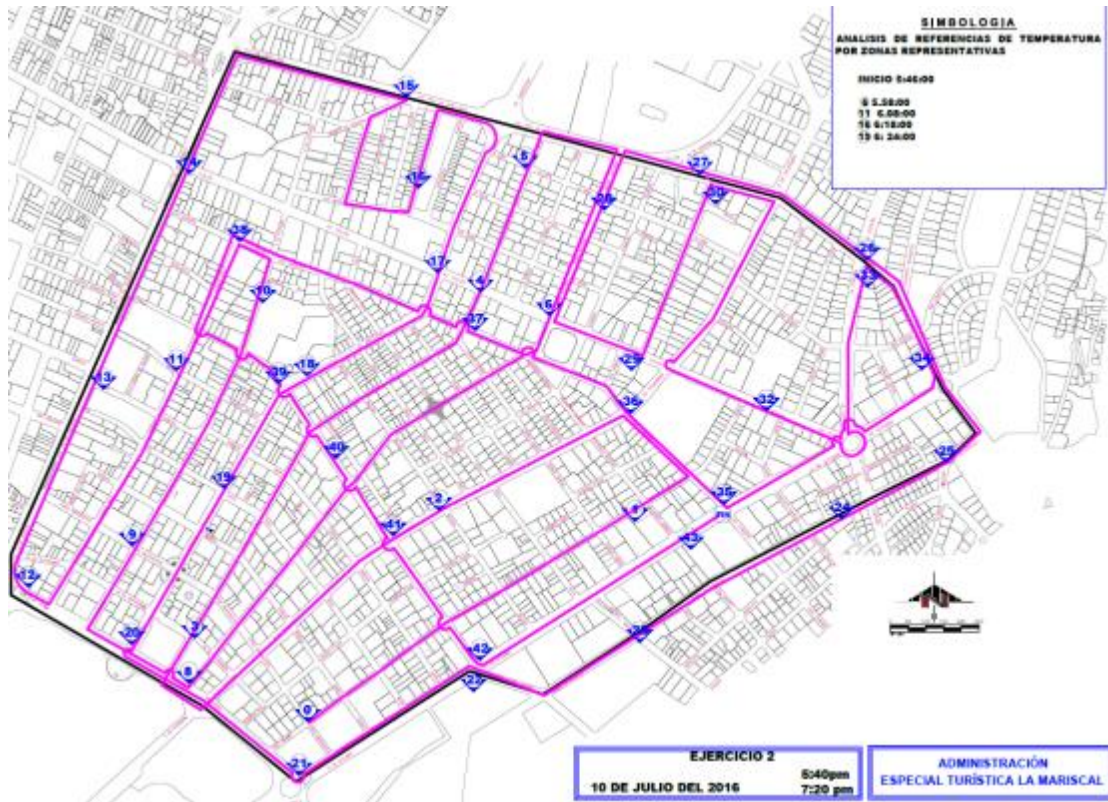
TEJIDOS URBANOS

	Requerimientos mínimos		Resultado alcanzado	
	hrs	SUP.	SUP.	
	%	%	%	
TEJIDOS CENTRALES				
Casco medieval				
Casco Viejo	>50%	75%	87 %	
Manzana cerrada				
Coronación	>50%	75%	74 %	
Lovaina	>50%	75%	91 %	
Ensanche	>50%	75%	72 %	
Desamparados	>50%	75%	72 %	
Judimendi	>50%	75%	47 %	
El Anglo	>50%	75%	62 %	
Edificación abierta				
El Pilar	>50%	75%	60 %	
Santiago	>50%	75%	78 %	
Santa Lucía	>50%	75%	97 %	

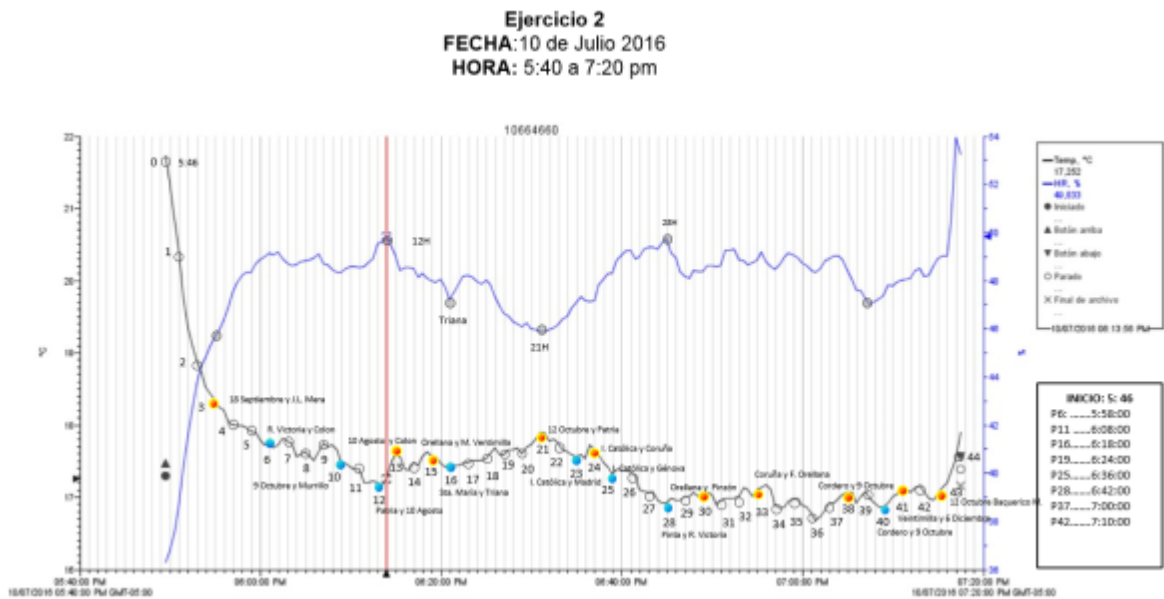
TEJIDOS MEDIOS				
Edificación abierta				
Txagorritxu	>50%	60 %	64 %	
Zaramaga	>50%	60 %	85 %	
Aranbizkarra	>50%	60 %	54 %	
Arana	>50%	60 %	88 %	
San Martín	>50%	60 %	65 %	
Arznabarra	>50%	60 %	79 %	
Edificación mixta				
San Cristóbal	>50%	60 %	71 %	
Adurtza	>50%	60 %	65 %	

TEJIDOS RESIDENCIALES				
Edificación abierta				
Gazalbide	>50%	50 %	92 %	
Sansomendi	>50%	50 %	91 %	
Lakua	>50%	50 %	77 %	
Salburúa	>50%	50 %	44 %	
Arantzabela	>50%	50 %	72 %	
Edificación mixta				
Zabalgana	>50%	50 %	52 %	
Abetxuko	>50%	50 %	71 %	
Vivienda unifamiliar				
Mendizorrotza	>50%	50 %	84 %	

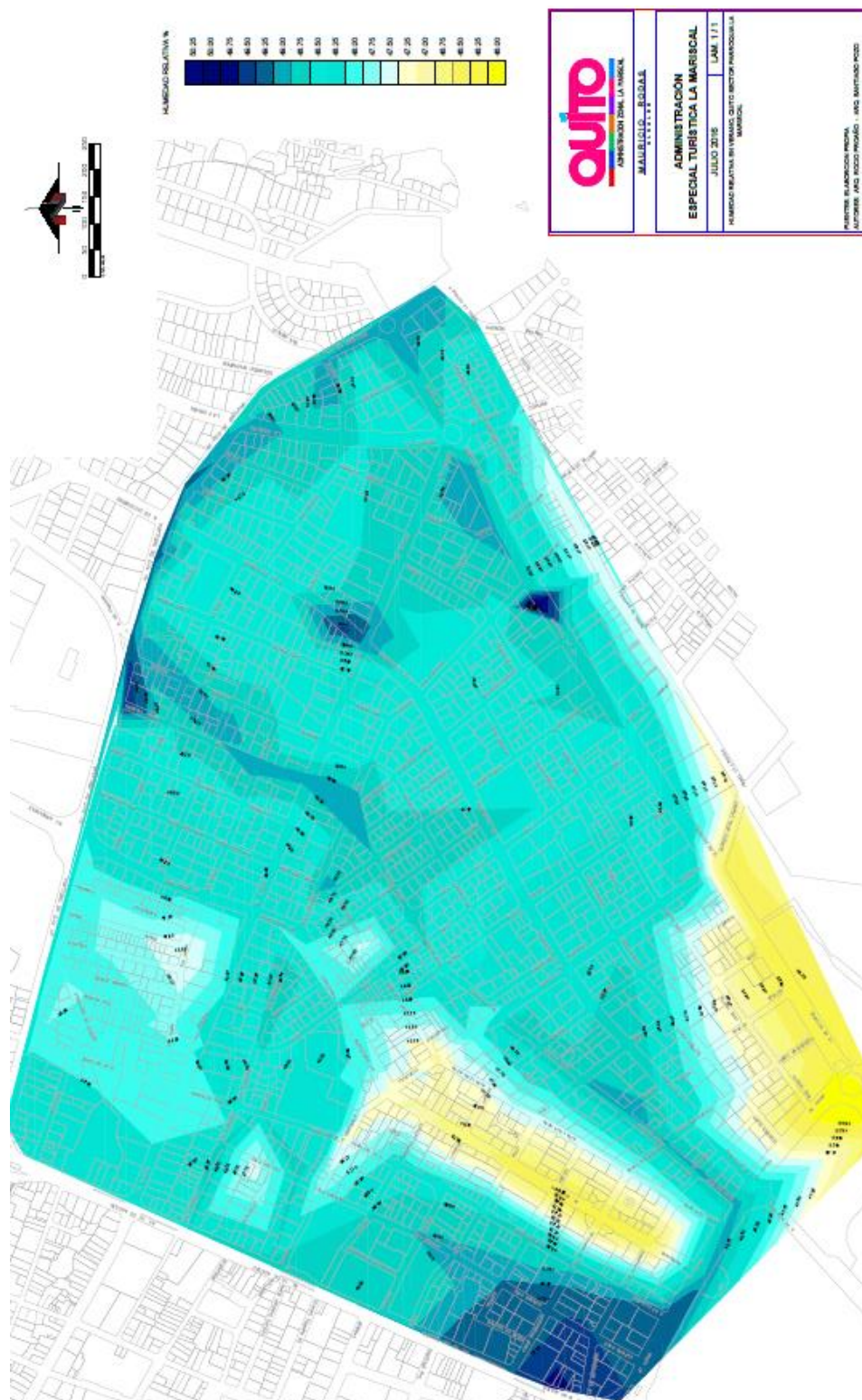
ANEXO 3, TRANSECTO URBANO, EJERCICIO 2, Datos 10 de julio del 2016,
 sector de La Mariscal, fecha 10 de julio 2016, hora: 5:40 a 7:20pm, fuente: (Proaño & Pozo, 2016)



ANEXO 4, DATOS HOBO, 10 de julio del 2016 de 5:40 a 7:20, sector de La Mariscal fuente: (Proaño & Pozo, 2016)



ANEXO 5, MAPA HUMEDAD RELATIVA, LA MARISCAL, 10 de julio del 2016 fuente: (Proaño & Pozo, 2016)



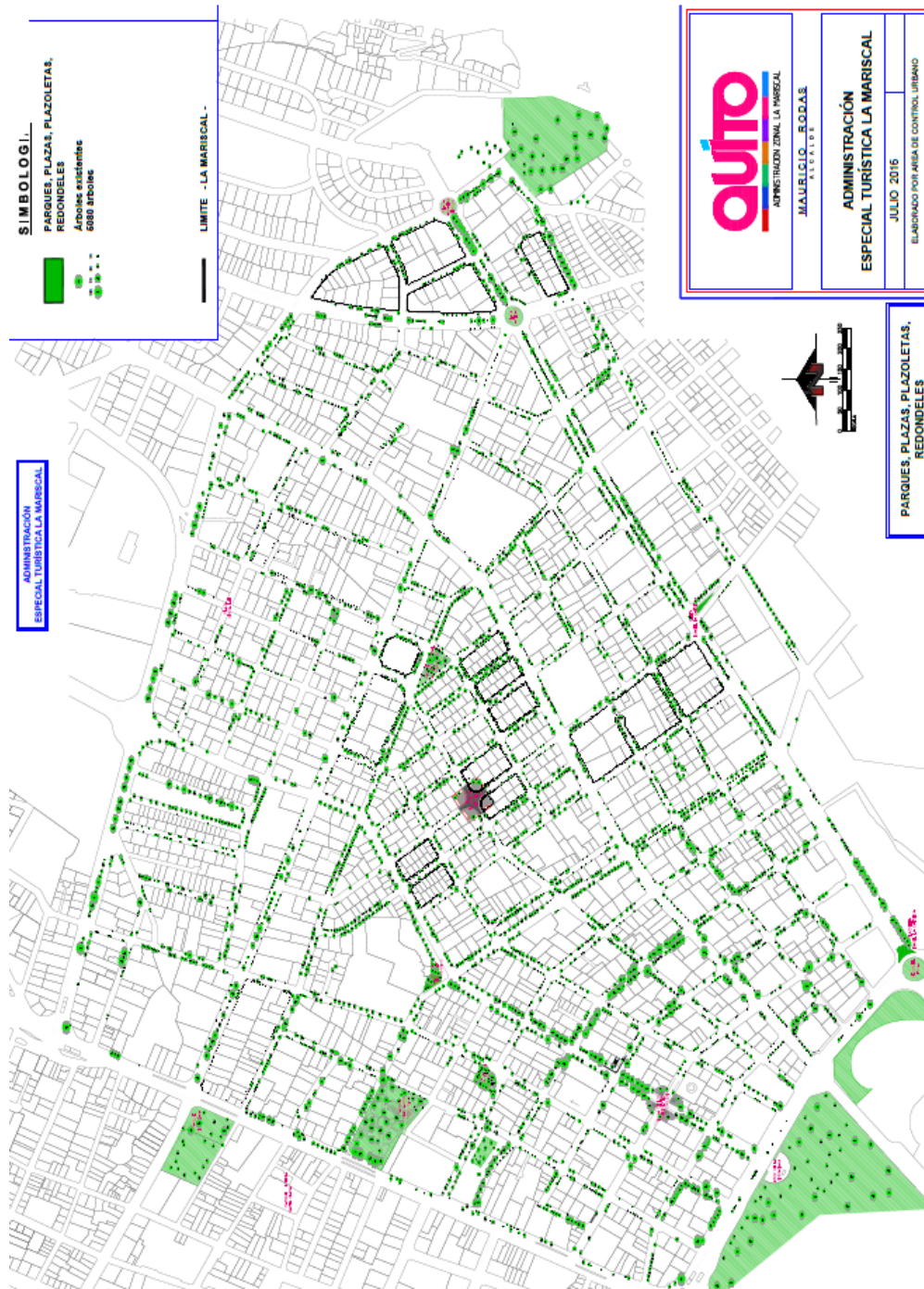
ANEXO 6, Orientación de vías, sector la Mariscal, fuente: elaboración propia.



ANEXO 7, Mapa anchos viales La Mariscal, Quito, fuente: (AZTLM, 2016)



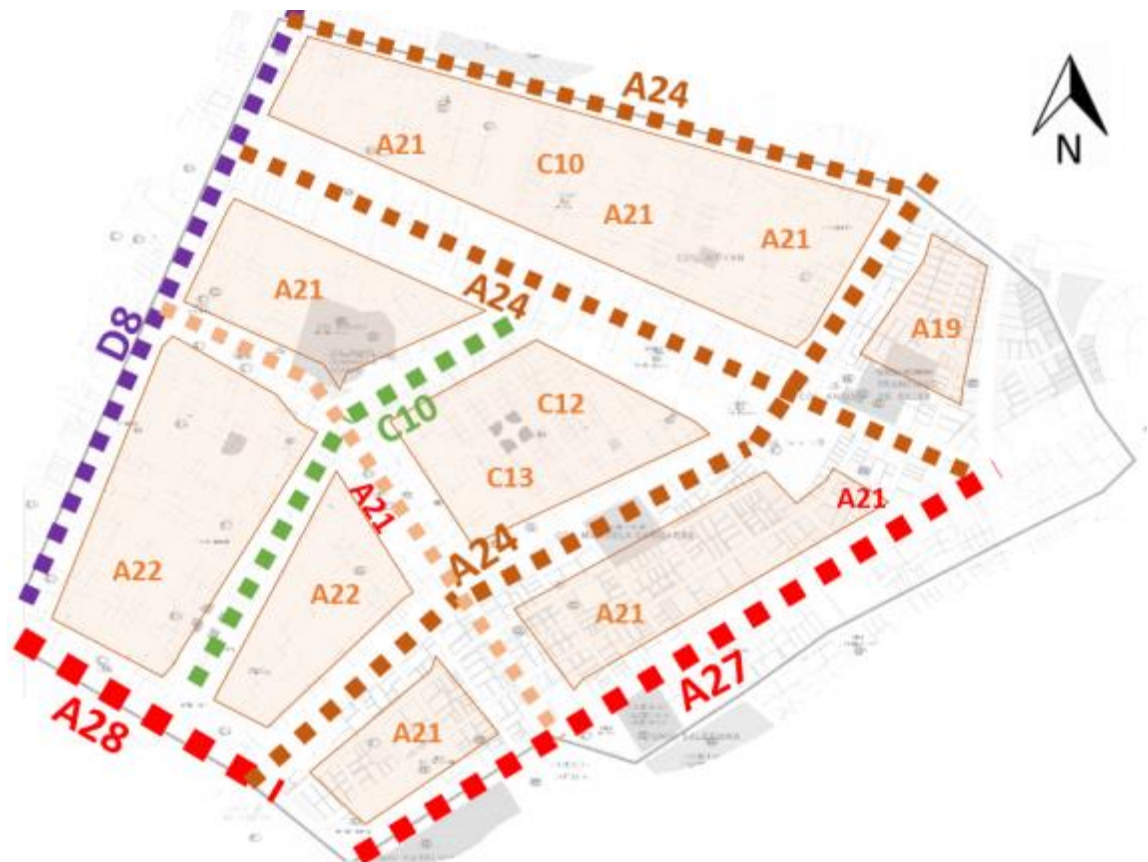
ANEXO 8, Arborización existente sector "La Mariscal", fuente: (AZTLM, 2016)



ANEXO 9, Usos de Suelo sector la Mariscal, fuente: (AZTLM, 2016), fuente: elaboración propia



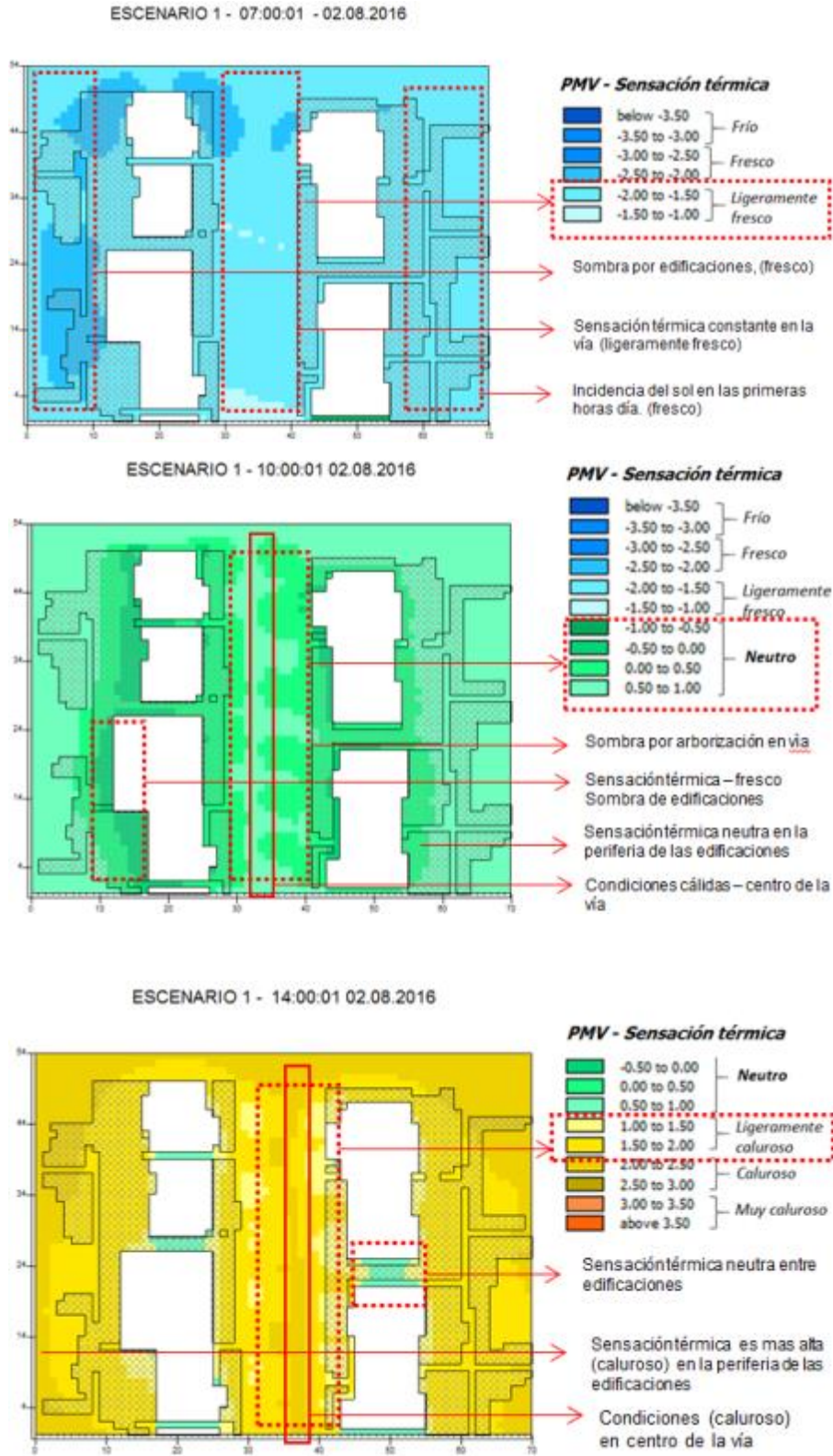
ANEXO 10, Altura de edificación, fuente: elaboración personal



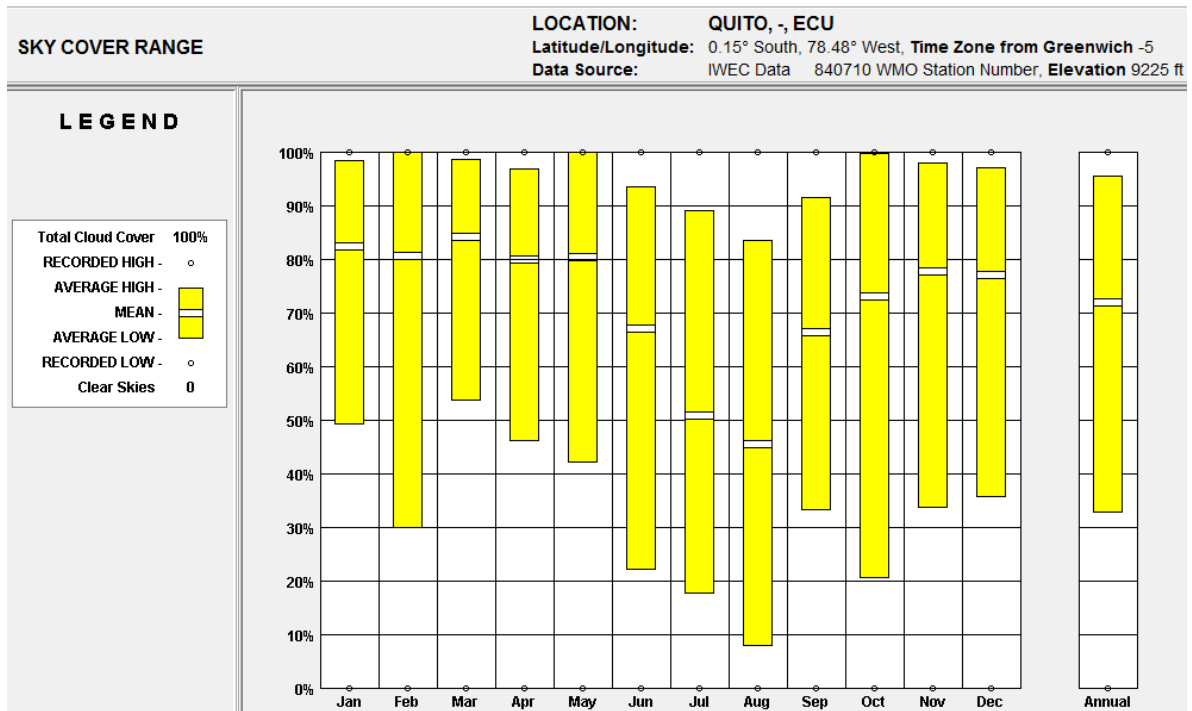
ANEXO 11, RESUMEN DATOS CLIMATOLOGICOS CLIMATE CONSULT

WEATHER DATA SUMMARY		LOCATION: QUITO, - ECU												
		Latitude/Longitude: 0.15° South, 78.48° West, Time Zone from Greenwich -5 Data Source: IMEC Data 840710 WMO Station Number, Elevation 2812 m												
MONTHLY MEANS		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
Global Horiz. Radiation (Avg Hourly)	Wh/eq.m	371	332	364	343	355	396	440	490	442	396	396	390	
Direct Normal Radiation (Avg Hourly)	Wh/eq.m	179	133	146	163	173	262	361	390	275	219	199	267	
Diffuse Radiation (Avg Hourly)	Wh/eq.m	240	236	251	222	228	220	185	205	232	232	249	202	
Global Horiz. Radiation (Max Hourly)	Wh/eq.m	1093	1080	1035	1094	960	977	1033	1102	1095	1111	1044	1074	
Direct Normal Radiation (Max Hourly)	Wh/eq.m	1040	1037	975	1021	945	980	993	1009	1013	1045	947	1066	
Diffuse Radiation (Max Hourly)	Wh/eq.m	716	760	758	733	693	460	672	713	666	746	723	537	
Global Horiz. Radiation (Avg Daily Total)	Wh/eq.m	4455	3994	4372	4121	4263	4749	5278	5888	5310	4753	4759	4689	
Direct Normal Radiation (Avg Daily Total)	Wh/eq.m	2154	1605	1754	1961	2075	3144	4337	4684	3303	2634	2399	3208	
Diffuse Radiation (Avg Daily Total)	Wh/eq.m	2887	2841	3015	2672	2740	2638	2225	2467	2794	2788	2992	2436	
Global Horiz. Illumination (Avg Hourly)	lux	42013	38165	41705	39324	40404	44354	48644	54357	49514	44643	44846	43759	
Direct Normal Illumination (Avg Hourly)	lux	17336	12760	14042	15918	16753	25239	35658	38610	27132	21451	19430	26027	
Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	degrees C	13	13	14	13	14	13	13	14	14	13	13	13	
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	degrees C	9	10	10	10	9	8	6	5	8	8	9	8	
Relative Humidity (Avg Monthly)	percent	80	85	80	79	76	71	63	61	69	72	76	76	
Wind Direction (Monthly Mode)	degrees	0	0	10	0	0	0	350	350	0	0	0	0	
Wind Speed (Avg Monthly)	m/s	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	
Ground Temperature (Avg Monthly of 3 Depths)	degrees C	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	

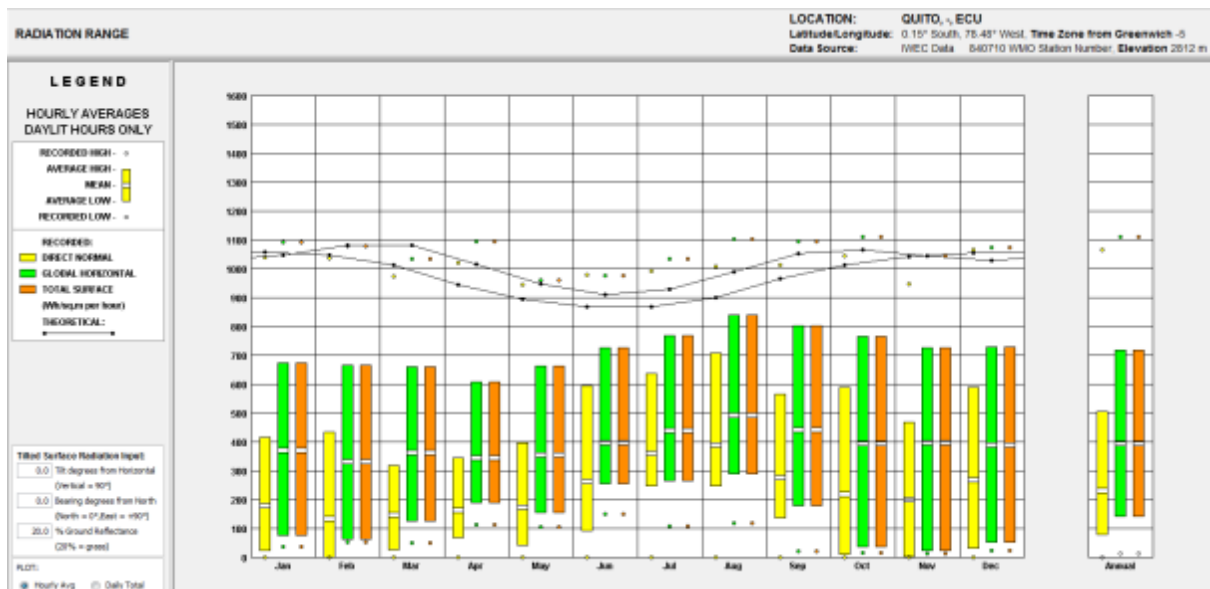
ANEXO 12, ANALISIS SENSACION TERMICA, DIAGRAMAS PMV – ENVIMET, fuente: elaboración propia



ANEXO 13, RANGO DE COBERTURA DE CIELO, QUITO – ECUADOR, Fuente: CLIMATE CONSULT



ANEXO 14, Rango de Radiación fuente: (CLIMATE CONSULTANT, 2014)



ANEXO 15, Rango mensual y diario de temperatura y radiación, fuente: (CLIMATE CONSULTANT, 2014)

