

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y ARTES

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN URBANISMO MENCIÓN GOBERNANZA
Y PLANIFICACIÓN URBANA CON ENFOQUE AL
CAMBIO CLIMÁTICO

ISLAS DE CALOR URBANO (ICU) Y MORFOLOGÍA
URBANA EN EL CENTRO HISTÓRICO DE IBARRA.

EDWARD MARTÍN VÁSQUEZ BEDÓN

ARQ. JORGE ANDRADE BENÍTEZ MSC.

IBARRA – ECUADOR

2022

Presentación

Este trabajo de investigación surge por la necesidad de entender, analizar y comprobar la presencia del fenómeno de isla de calor urbano en la ciudad de Ibarra. Tomando como punto de partida dos ejes de estudio en el centro histórico de la ciudad y su área de influencia, con el objetivo de determinar la correlación de variables morfológicas en el comportamiento microclimático de ciudades con características particulares como tamaño, topografía, densidad poblacional, expansión urbana, entre otras.

Dedicatoria

A mis padres Blanqui y Cruz, por su apoyo incondicional, perseverancia, palabras de aliento e incentivo para la mejora profesional continua; a mis hermanos, cuñados y sobrinos por su comprensión, preocupación y apoyo permanente en todos los momentos importantes en cada etapa personal, educativa y profesional de mi vida.

Agradecimiento

A Dios, a mis padres Blanqui y Cruz por guiar mis pasos, su amor, entrega y apoyo total para cumplir todos mis sueños y objetivos; a mis hermanos, cuñados, sobrinos y demás familiares que aportaron con un granito de arena para cumplir esta meta profesional; mi respeto y admiración infinita a todos.

A todos mis maestros de la maestría en Urbanismo por impartir su experticia y conocimientos con gran dedicación y pasión, especialmente al MSc. Arq. Jorge Andrade quien supo asesorar y guiar con acierto el presente trabajo de titulación.

INDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
ANTECEDENTES	5
JUSTIFICACIÓN	7
OBJETIVOS	9
Objetivo General.....	9
Objetivos Específicos	9
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO	10
Cambio climático y ciudades.....	10
Confort y microclima urbano	11
Isla de calor urbana (ICU).....	12
Morfología urbana.....	14
Cañón urbano.....	15
Propiedades de la superficie urbana.	15
Radiación solar y morfología del cañón urbano.....	16
Vientos.....	17
Arbolado urbano.	18
CAPÍTULO II METODOLOGÍA	19
Diseño de investigación.....	19
Técnicas de investigación.....	19
Caracterización del tramo de estudio.	20
Monitoreo microclimático.....	20
Análisis estadístico	22

Análisis de correlación	22
Componentes principales	23
Modelos lineales	25
Isotermas	27
CAPÍTULO III RESULTADOS	28
Conducta térmica de los ejes de estudio	29
Análisis estadístico	34
Análisis de correlación	34
Análisis de componentes principales (ACP)	36
Modelos lineales	37
CAPÍTULO IV DISCUSIÓN	41
CAPÍTULO V CONCLUSIONES	46
ANEXOS	49
Anexo 1 Matriz de datos	49
Anexo 2 Matriz de variables	61
Anexo 3 Tablas de frecuencias por tramos	62
Anexo 4 Script Software R	69
BIBLIOGRAFÍA	76

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Capa de análisis para la ICU, en la primera figura en rojo el UBL y en la segunda el UCL	13
Ilustración 2: Perfil de temperatura de la Isla de Calor Urbana (ICU)	14
Ilustración 3: Variables morfológicas modificadoras del microclima urbano ...	15
Ilustración 4: Diferencia de temperatura superficial entre una cubierta vegetal y una normal registrada en Chicago en un día de verano.	16
Ilustración 5: Intercambio de energía entre el cuerpo.....	16
Ilustración 6: Morfología urbana y radiación solar directa.....	17
Ilustración 7: Comportamiento del viento en cañones urbanos con diferente relación de aspecto.....	18
Ilustración 8: Temperatura ambiente promedio monitoreada sobre los ejes de estudio, día 27 de septiembre de 2021	29
Ilustración 9: Temperatura promedio (9:00 a 9:30 horas).....	30
Ilustración 10: Diagrama de cajas de temperatura por tramos	30
Ilustración 11: Temperatura promedio (13:00 a 13:30 horas).....	31
Ilustración 12: Temperatura promedio (16:30 a 17:00 horas).....	32
Ilustración 13: Isoterma - Centro Histórico de Ibarra	33
Ilustración 14: Matriz de correlación de variables cuantitativas	34
Ilustración 14: Biplot de variables y observaciones	35
Ilustración 16: Varianzas por componente.....	36
Ilustración 17: Recta de regresión ajustada TEMP vs. ARB.....	38
Ilustración 18: Recta de regresión ajustada TEMP vs. ORIENT.....	38
Ilustración 19: Recta de regresión ajustada TEMP vs. MATCAL.....	39
Ilustración 20: Recta de regresión ajustada VELVIEN vs. CANURB.....	40
Ilustración 21: Recta de regresión ajustada VELVIEN vs. ANCHO	40

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de Variables	21
Tabla 2: Media de resultados	28
Tabla 3: Estadística descriptiva de temperaturas máximas en los tramos de estudio.....	33
Tabla 4: Análisis de componentes principales (ACP)	36
Tabla 5: Modelo lineal ANOVA – análisis de varianza de temperatura vs otras variables	37
Tabla 6: Modelo lineal ANOVA – análisis de varianza de velocidad del viento vs otras variables	39

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
ICU	Islas de Calor Urbano.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change.
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
PDOT	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.
ONU	Organización de Naciones Unidas.
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible.
UNFCCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
GADM	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal.

RESUMEN

Al igual que otras urbes a nivel mundial, en las últimas décadas, la ciudad de Ibarra en Ecuador se ha expandido significativamente modificando condiciones territoriales que producen impactos microclimáticos y medio ambientales dando origen al fenómeno de isla de calor urbano ICU, la cual se define como la diferencia significativa de temperatura entre zonas urbanas y rurales de una ciudad. La presente investigación tiene como propósito analizar la correlación de variables microclimáticas con variables morfológicas de ciudades de menor tamaño, densidad poblacional y evolución urbana, por medio de mediciones in situ en determinados días con condiciones climáticas óptimas usando estaciones móviles dentro de dos ejes principales del Centro Histórico de Ibarra y su área de influencia. Los datos obtenidos fueron analizados y evaluados estadísticamente mediante modelos multivariados. Los resultados obtenidos demuestran que, las variables de arborización, orientación de vías y material de calzada están directamente relacionadas con la variación de la temperatura, de igual manera, las variables cañón urbano y ancho de vía guardan estrecha relación con la velocidad del viento y por ende con la varianza del confort térmico, lo cual justifica la necesidad de acciones, estrategias y políticas públicas que favorezcan la sostenibilidad de la ciudad.

Palabras clave: Isla de calor urbano, microclima urbano, morfología urbana, centro histórico.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, las ciudades han tenido orígenes diferentes, pero crecimientos similares (Therán et al., 2019). Por un lado, debido a los diferentes aspectos históricos y contextos de los asentamientos humanos, por otro, dichas similitudes surgen desde la revolución industrial en el siglo XVIII, expandiendo este modelo de ciudades a nivel mundial, las cuales heredan un núcleo histórico e institucional, trazado vial y servicios principalmente en respuesta al crecimiento demográfico de los distintos asentamientos humanos.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU), alrededor de 5'167.258 millones de personas vivirán en ciudades para el 2030, lo que significa que el 54% de la población se radicará en zonas urbanas. (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019) Sin embargo, esta tendencia de expansión y crecimiento de la mancha urbana ha ido reduciendo áreas importantes de vegetación que configuran zonas de amortiguamiento frente a condiciones ambientales y soberanía alimentaria para dichos núcleos urbanos, siendo una de las varias aristas que dan origen a problemáticas relacionadas con el cambio climático que día a día son más perceptibles en nuestras ciudades.

En la investigación realizada por (Mercado Maldonado & Marincic Lovriha, 2017, p. 27), afirman que “el cambio climático es una realidad y la capacidad de adaptación de los seres humanos definirá la forma en que nos ajustemos exitosamente a la nueva situación del impacto en la climatología urbana.” No obstante, el rápido crecimiento de las ciudades y los cambios en el uso del suelo urbano, así como la densidad de población y la industrialización de las últimas décadas, son algunos de los factores que han contribuido a la degradación de la calidad ambiental y han evidenciado los efectos del cambio climático en todas las ciudades del mundo. (Organización de las Naciones Unidas, 2017)

Las ciudades alteran los microclimas urbanos debido a su morfología, a los materiales de construcción y a la falta de vegetación, por lo que los efectos del calentamiento global son cada vez más visibles en las zonas urbanas. Shaftel (2021) menciona que “las alteraciones del clima han ocurrido en un proceso de millones de años, sin embargo, en la actualidad suceden en decenas de años”. Una de ellas se conoce como Islas de Calor Urbano (ICU), la que se define como “la diferencia de temperatura entre las zonas urbanas y rurales de la ciudad” (Bustamante Campoverde, 2018, p. 168)

Las últimas décadas varios autores como Oke (1981), Tumini (2012), Cordero (2014), organismos internacionales como la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2017) entre otros, han profundizado estudios e investigaciones en diferentes ciudades y metrópolis del mundo para comprender posibles incidencias urbanas en las ICU. Se enfatiza el análisis del balance energético de las urbes y la correlación de diferentes variables influenciado por la morfología urbana y sus componentes (calles, parcelas y edificaciones existentes) dentro de escenarios con características de poca topografía, alterando la evaporación, velocidad de viento y escorrentía superficial de las urbes, lo que evidencia los cambios de temperatura promedio en el área urbana.

La investigación de la ICU se centra en estudios de la temperatura ambiente en territorio donde, por lo general, son estandarizados por el registro de datos de las estaciones meteorológicas fijas, para la generación de isotermas. Sin embargo, el método más aplicado a nivel mundial se ha concentrado en el análisis de temperatura mediante el uso de imágenes satelitales y el posterior procesamiento en programas SIG. (Kotharkar et al., 2018)

Por otro lado, el análisis de las ICU ha sido limitado a un punto dentro del área urbana o, a su vez, en las zonas rurales aledañas a la ciudad dificultando la

correlación de datos para la elaboración de cartografía referente al estrés térmico que representa la acumulación excesiva de calor dentro de las ciudades, tal es el caso de la ciudad de Ibarra, que tan solo cuenta con una estación meteorológica dentro de la urbe, dejando de lado a las características de la variada topografía en la ciudad, puesto que, Los Andes en particular se distinguen por ser unos de los sistemas montañosos más importantes del mundo, con uno de los gradientes climáticos más pronunciados en dirección este-oeste (Garreaud et al., 2009)

A pesar de las limitaciones, en el caso puntual de la ciudad de Ibarra, se han registrado, en la última década, altos niveles de estrés térmico debido al aumento progresivo de la temperatura, donde según datos del INAMHI recogidos por el Diario Hoy en Imbabura (2017) en épocas de verano se han registrado niveles de temperatura de hasta 28°C, es decir, en estos días, el calor en Ibarra es comparable con la ciudad de Guayaquil, que tiene una temperatura promedio de 30°C.

Así, por medio del presente trabajo, se busca explorar alternativas para potenciar la heterogeneidad de las áreas urbanas existentes, mediante técnicas y herramientas que diversifiquen datos meteorológicos locales georreferenciados con la finalidad de estudiar la incidencia de la morfología urbana en los microclimas urbanos de acuerdo con las características propias de su contexto, en este caso, el Centro Histórico de Ibarra.

ANTECEDENTES

De acuerdo con la investigación de Maldonado González (2019) el PhD Timothy Richard Oke es uno de los autores pioneros en publicar estudios de correlación entre el microclima urbano y las variables morfológicas, contribuyendo con estudios de las capas atmosféricas urbanas desde 1976.

Para Villanueva-Solís et al. (2013), el primer acercamiento a estudios de Islas de Calor remonta a 1996 donde, mediante el uso de imágenes satelitales (NOAA AVHRR), se identificaron islotes de alta emisión de estrés térmico relacionado con zonas industriales, comercio y servicio, es decir, en una zona de alto grado de urbanización y escasas áreas verdes de la ciudad de Mexicali, donde se evidenció que la dinámica de la ciudad produce suficiente calor para elevar la temperatura superficial, alterando el balance energético de la urbe. (Villanueva-Solis et al., 2013)

Para investigaciones recientes se analizan por lo general imágenes Landsat 8+ dentro de periodos de tiempo semejantes para la posterior sistematización mediante programas SIG, como es el caso de Rosas Lusett (2019) quien desarrolló la investigación Islas de Calor en la zona conurbada del Río Pánuco con el objetivo de “identificar las islas de calor en la zona conurbana del río Pánuco mediante estudios de temperatura del aire en la noche, identificación de morfología urbana y el albedo de las superficies”, llegando a la conclusión de que utilizando imágenes de satélite, se pudo obtener la ubicación exacta de las islas de calor y, con ello, relacionar la incidencia de estos efectos térmicos con elementos morfológicos como: el sistema constructivo, presencia de arbolado, capa de rodadura, composición urbana, etc.

Así mismo, con ayuda de los avances tecnológicos se han puesto en marcha investigaciones de Islas de Calor Urbano con instrumentos y técnicas más accesibles con resultados confiables que ayudan a entender de mejor manera

la realidad de las urbes y los territorios. Tal es el caso de Pigliatile & Pisello (2020) quienes en su investigación denominada “Análisis de agrupación de datos ambientales a través de técnicas de detección portátiles: nuevo proceso ascendente destinado a identificar morfologías granulares intraurbanas a partir de transectos peatonales” proponen un proceso ascendente para la detección de la diversificación del microclima urbano basado en datos experimentales recopilados mediante un sistema de monitoreo portátil bajo la perspectiva peatonal durante periodos cortos, correlacionando de mejor manera datos medioambientales con la morfología urbana de Knossos (Grecia), Gubbio (Italia), Distrito SoHo (Nueva York, Estados Unidos) y Upper East Side y Upper East Side (Nueva York, Estados Unidos).

Así también, en el contexto ecuatoriano, existen diferentes autores que se han enfocado en estudiar las causas y efectos de las Islas de Calor Urbano, pero en ciudades grandes como Quito, Guayaquil y Cuenca, mediante el análisis de imágenes Landsat 8+ para la generación de isotermas debido a la carencia de data, como es el caso de Maldonado González (2019) y (Bustamante Campoverde, 2018), entre otros, lo cual deja abierta la posibilidad de continuar y complementar este tipo de estudios en ciudades intermedias como es el caso de Ibarra.

JUSTIFICACIÓN

Para Maimunah Mohd Sharif directora ejecutiva de la ONU – Hábitat, “las ciudades de todo el mundo constituyen la principal causa del cambio climático” (Sharif, 2018), puesto que, más del 50% de la población mundial vive en ciudades y se estima que, para el 2050, aumentará a más de las dos terceras partes. Estas ciudades según Pozo (2017), ocupan aproximadamente un 3% de la superficie del planeta tierra, emiten el 71% de gases de efecto invernadero, generan residuos dando como resultado alteraciones en ecosistemas naturales, provocando la absorción del calor y el calentamiento de la Tierra.

De igual manera, el programa ONU-Habitat (2011) hace énfasis en datos alarmantes para el contexto Latinoamericano y el Caribe, puesto que, las ciudades se han multiplicado por seis en los últimos cincuenta años, lo que la convierte en la región más urbanizada del mundo, a pesar de que solo el 80% de la población vive en estas ciudades.

En el contexto nacional, desde la Primera Comunicación Nacional del Ecuador de Cambio Climático del 2010, se ha mostrado preocupación en las consecuencias palpables del calentamiento global, ya que el territorio es altamente vulnerable a los impactos del cambio climático debido a su posición geográfica en una zona tropical cercana a la línea ecuatorial donde la tendencia son entornos más calientes (Estoque et al., 2017 como citó Bustamante Campoverde, 2018), la topografía caracterizada por el contexto climático de los Andes, puesto que, es “uno de los sistemas montañosos más importantes del mundo presentando uno de los gradientes climáticos en dirección este – oeste más marcados a nivel global” (Garreaud, Vuille, Compagnucci, & Marengo, 2009 como citó Bustamante Campoverde, 2018), a esto se suma la carencia de estaciones dentro de las zonas urbanas dificultan su estudio y análisis, por lo que, se han analizado tan solo a grandes ciudades del Ecuador, como el Distrito Metropolitano de Quito y Cuenca en la

región sierra y a Guayaquil por la región costa analizando los efectos ICU en sus territorios urbanos, sin embargo, a pesar de su tamaño menor la ciudad de Ibarra no es ajena a este efecto. (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2001)

De acuerdo con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de San Miguel de Ibarra (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra, 2020) en las últimas décadas la ciudad ha experimentado un crecimiento urbano acelerado. Para el año 1984 creció la mancha urbana en 686.25 ha con respecto al año 1970, así mismo, para el 2011 la ciudad creció 1863.27 ha, que representa el 63.17% con respecto al dato obtenido en 1984. Por otro lado, a partir del 2011 la ciudad en cinco años creció 4.364.74 ha, lo que significa que, para el 2016 la ciudad creció en 57.31% su territorio, siendo el período 1984 – 2011 el más importante, ya que, el límite urbano se duplicó debido a la consolidación de espacios y el incremento de la demanda de viviendas provocando la expansión urbana y conurbanización con parroquias rurales del cantón.

Esta acelerada expansión urbana ha implicado la segmentación de diferentes ecosistemas, pérdida de suelo agrícola, alteración en los sistemas hídricos territoriales y quebradas, además de la contaminación por residuos sólidos en ríos de la ciudad, el crecimiento del parque automotor del 8% anual y emisiones de CO₂. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra, 2020)

Adicionalmente, la ciudad de Ibarra al igual que otras ciudades del Ecuador, cuenta con data exigua debido a la carente información académica, política y meteorológica relevante de las urbes, para entender las diferentes causas y comportamientos en distintas temporalidades, que contribuyen con la presencia de islas de calor en el área urbana de la ciudad. Por lo que, es importante recabar y analizar dentro de una delimitación en el centro histórico de Ibarra, criterios que de acuerdo con varios autores como Maldonado González (2019),

(Bustamante Campoverde, 2018), Castillo et al. (2019), entre otros, plantean esta delimitación para explicar con mayor profundidad cambios significativos de temperatura, puesto que, es un punto fundamental dentro de las técnicas metodológicas de investigación.

En consecuencia, esta investigación busca relacionar estudios previos de otras ciudades del Ecuador con temáticas similares y aportar con las características particulares del área urbana de Ibarra a esta red de conocimiento, analizando, desde otra perspectiva, la relación entre variables microclimáticas con variables morfológicas que inciden en el fenómeno de Islas de calor urbano en ciudades de menor tamaño, diferente topografía, densidad poblacional, composición y evolución urbana. De esta manera, se busca abrir un abanico de posibles estrategias para combatir paulatinamente los efectos del calentamiento global en los diferentes territorios del Ecuador y el mundo.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Analizar la relación entre la morfología urbana y la presencia de islas de calor urbano (ICU) en el centro histórico de la ciudad de Ibarra y su área de influencia.

Objetivos Específicos

- Identificar las áreas del Centro Histórico de la ciudad de Ibarra y su área de influencia que pueden sufrir efecto de Isla de Calor Urbana, específicamente en los ejes de la calle Bolívar y Av. Pérez Guerrero.
- Determinar los elementos morfológicos urbanos que inciden en el comportamiento térmico, específicamente de los ejes de la calle Bolívar y Av. Pérez Guerrero, centro histórico de la ciudad de Ibarra y su área de influencia.

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO.

Cambio climático y ciudades

Según Quiroz Benítez (2013) en las últimas dos décadas han sido apremiantes los temas ambientales en las ciudades del mundo debido a evidencia irrefutable de incremento de la sensación térmica, sequías, alteración de biodiversidad, deterioro de la salud humana, etc., factores prioritarios que vuelven incuestionables los efectos del cambio climático desde finales del siglo XX. Esta degradación ambiental sirvió como un llamado de atención a todo el mundo a que sean responsables con las realidades de su territorio y su ocurrencia, puesto que, según la investigación de la Corporación Universitaria de Investigación Atmosférica (2021) “el incremento de temperatura del planeta es consecuencia tanto de factores naturales como de la acción de los seres humanos, en particular, de la emisión de gases de efecto invernadero que puede tener repercusiones en todo el sistema climático”.

Es importante entender la complejidad de las ciudades debido a las diferentes interacciones que se desarrollan dentro de estas y los efectos que ocasionan en relación con su entorno físico y medioambiental, puesto que, según el programa de la Organización de las Naciones Unidas (2017) para los Asentamientos Humanos se prevé que para el 2030 las ciudades crecerán en 60% y naturalmente este crecimiento de la urbanización es más evidente en países en desarrollo.

Este proceso acelerado de urbanización intensifica los daños medioambientales en las áreas urbanas, peri urbanas y rurales de las ciudades debido a las actividades que allí se desarrollan, al consumo de recursos y la generación de desechos dentro y fuera de sus límites, puesto que, para Quiroz Benítez (2013) las ciudades “son núcleos receptores de insumos y expulsores de desechos, lo cual las coloca en una situación particular frente a problemáticas del cambio climático.”

Confort y microclima urbano

En este contexto, el confort térmico urbano se define como el intercambio de energía entre un ser humano y su entorno a través de la convección, la conducción, la radiación y la evaporación a través de la piel y el tracto respiratorio. (Cordero Ordóñez, 2014)

Para, Domingo (2011) la circulación del aire alrededor del cuerpo humano provoca la convección, por otra parte, la conducción se da por la transmisión de calor por el intercambio de energía mediante el contacto del cuerpo con elementos de contacto y su capacidad de conductividad térmica. La radiación, la cual depende directamente del intercambio de temperatura entre el cuerpo humano y la temperatura de la superficie adyacente, siendo un ejemplo existente la interacción en espacios exteriores del cuerpo humano con el ambiente mediante la exposición de la radiación solar.

Se entiende por microclima urbano al efecto de la incidencia de las actividades antrópicas sobre el clima de una urbe en relación con su área periférica y entorno rural dentro de una misma ciudad. (Tumini, 2012). Este se manifiesta de la siguiente manera:

- i) un aumento de las temperaturas respecto al entorno rural próximo, ii) en la reducción de la amplitud térmica diaria, iii) en una peculiar distribución de los vientos de la ciudad como consecuencia de los rozamientos con los edificios y encauzamiento en las avenidas y iv) en un balance hídrico diferente a los existentes en los espacios extraurbanos (Tumini, 2012, p. 4).

Las causas de este fenómeno se asocian con la sustitución de superficies vegetales por estructuras y superficies impermeables como, por ejemplo, las calles. Otro aspecto crítico es la respuesta a las fuentes antropogénicas a pequeña y gran escala, por un lado, y la absorción de la luz solar y la capacidad

reflectiva de los materiales de acabado, por otro. Dependen también de la heterogeneidad morfológica y tamaño de la urbe, topografía, ubicación geográfica y las características climáticas como la temperatura, viento, etc. (Ellis Aronin, 1927; Fariña Tojo, 2007; Givoni, 1998; A. L. Gómez, 1993; Santamouris, Asimakopoulos et al., 2001 como se citó en (Tumini, 2012), pág. 5)

Para (Tumini, 2012), la investigación realizada demuestra que el microclima urbano está íntimamente relacionado con las percepciones de los usuarios al bienestar térmico, y uno de los fenómenos primarios asociados a la variación del microclima urbano es el efecto de isla de calor urbana.

Isla de calor urbana (ICU).

El término "Isla de calor urbano" se refiere a la diferencia de temperatura entre las zonas urbanas y rurales, que suele causarse por cambios en los patrones de flujo, efectos en la retención de calor y variaciones en el albedo superficial. (IPCC, 2013). Las ICU pueden producirse durante el día o la noche, y su intensidad se determina por el equilibrio energético de la región urbana en relación con su entorno. (Tumini, 2012).

Para la U.S. Environmental Protection Agency (2008) existen dos tipos de islas de calor urbano: superficiales y atmosféricas. "La isla de calor superficial se genera cuando las superficies de suelos, techos y fachadas registran una temperatura superior a la del aire y tiende a ser más fuerte por el día cuando el sol es alto y el cielo es claro" (Tumini, 2012, p. 36). En contraste, entre las zonas urbanas y rurales, la diferencia térmica oscila entre 3°C y 5°C, y la técnica más común para estimar la temperatura superficial es el análisis de mapas térmicos e imágenes radiométricas.

La relación de temperatura del aire entre las zonas urbanas y rurales se utiliza para definir la isla de calor atmosférica. Para esto se distinguen dos tipos: los

situados entre el suelo y el nivel superior de tejados o árboles, que afectan directamente a la población, y los situados por encima de estos hasta el punto en que el paisaje urbano influye en la temperatura, que generalmente no supera los 1.5 km. (Tumini, 2012).

Según la investigación de Voogt (2007), para la obtención de datos en estas dos escalas se sugiere dos procedimientos. Por un lado, la capa atmosférica denominada capa límite urbana o UBL (Urban Boundary Layer) por sus siglas en inglés, usa instrumentos fijos en techos de edificaciones, sensores de altura en globos, información aérea, imágenes satelitales, etc. y para la capa dosel urbana o UCL (Urban Canopy Layer) por sus siglas en inglés, usa instrumentos a nivel de calle o paramento de vivienda tomado a la misma altura entre 1.3 a 2 m de altura, los cuales deben tener una protección a la radiación directa y buena ventilación.

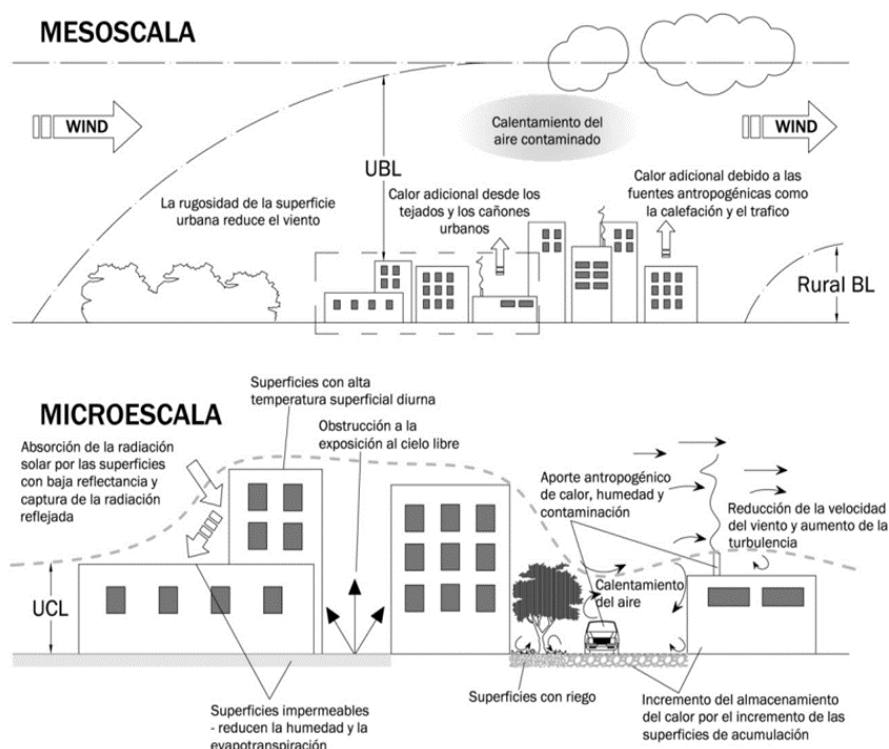


Ilustración 1: Capa de análisis para la ICU, en la primera figura el UBL y en la segunda el UCL

Fuente: Adaptación de Voogt J. *How Researchers Measure Urban Heat Islands*. como citó Tumini, 2012

Elaboración: Propia.

Morfología urbana.

Para Taracena (2013), desde el punto de vista urbanístico, la morfología urbana se refiere al “estudio analítico de la producción y modificación de la forma urbana en el tiempo, estudiando el tejido urbano y sus elementos construidos que lo forman a través de su evolución, transformaciones, interrelaciones y los procesos sociales”, mismos procesos urbanos que han sido factores detonantes para el aumento de la temperatura en dichas áreas urbanas y, por ende, se ven ligados directamente con las Islas de Calor Urbano.

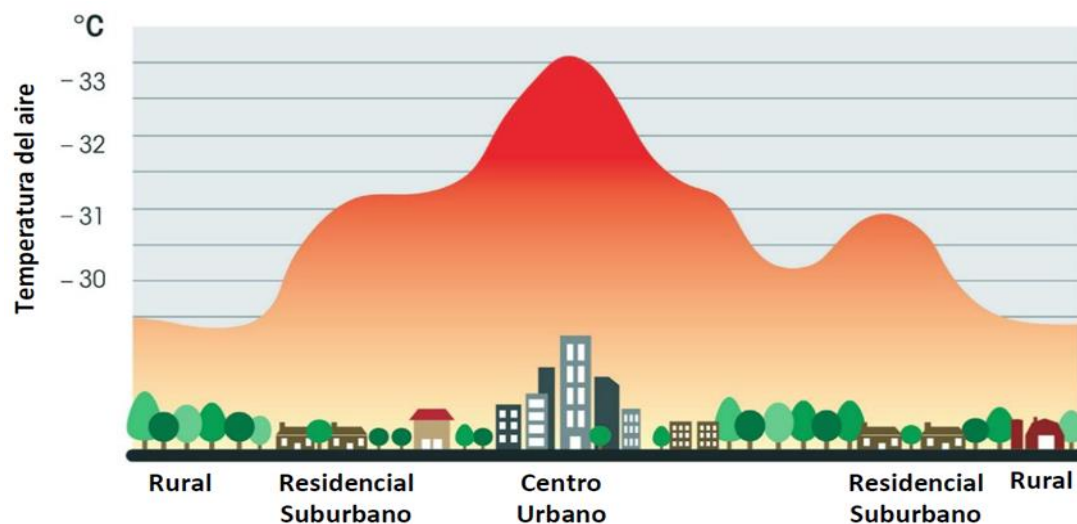


Ilustración 2: Perfil de temperatura de la Isla de Calor Urbana (ICU)

Fuente: Tumini, 2012

Elaboración: Propia.

De acuerdo con Tumini (2012) “los factores geográficos como la ubicación, topografía e hidrografía instauran una relación simbiótica que, en su conjunto, diferencian la radiación solar, temperatura del aire, viento y humedad”, están ligados a una configuración, contexto urbano y a la dinámica dentro de ellas modificando o alterando el balance energético y el confort térmico respecto a las áreas periféricas y zonas rurales de las ciudades. El “clima a nivel de la calle es más determinante, ya que la capa de aire que se encuentra entre el piso y el nivel superior de los techos y árboles es la que afecta directamente a los peatones” (Tumini, 2012 como se citó en Cordero Ordóñez, 2014, p.16)

Cañón urbano.

Cañón Urbano es un término introducido por Oke (1981), en el cual señala que las condiciones climáticas son determinadas por la naturaleza los diferentes elementos morfológicos del entorno inmediato como vegetación, características de los materiales y a las actividades antrópicas. Estas alteraciones se perciben tanto espacialmente como a lo largo del día en el recorrido de distancias cortas debido a la incidencia de la radiación solar, temperatura y velocidad del aire.

Según Cordero Ordóñez (2014), los elementos morfológicos que afectan a las características climáticas son la orientación de trama vial, la relación de aspecto (H/W), donde H denota la altura del edificio y W denota la anchura de la carretera, y el factor de visión del cielo (SVF), que es una medición tridimensional del ángulo sólido de la visión del cielo en un cañón urbano.

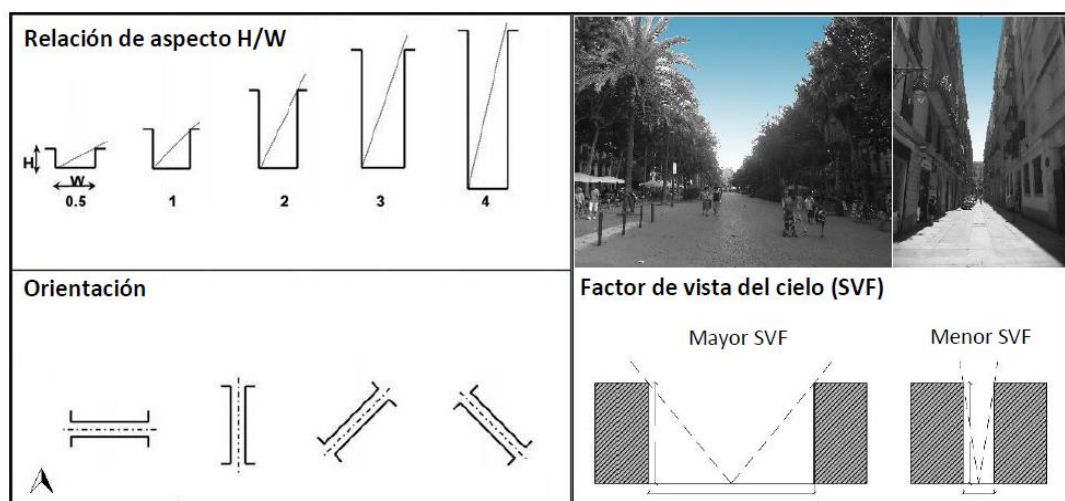


Ilustración 3: Variables morfológicas modificadoras del microclima urbano

Fuente: Cordero Ordóñez, 2014

Elaboración: Propia.

Propiedades de la superficie urbana.

El rol de los materiales en las calzadas, aceras y fachadas de las edificaciones cobran un aspecto decisivo en el sobrecalentamiento de las urbes, puesto que estos, al estar expuestos directamente al sol, convierten la radiación en calor,

donde una parte se acumula y otra se reemite hacia la atmosfera aumentando sustancialmente la sensación de calor debido a su carente porosidad y capacidad de almacenamiento de humedad. (Cordero Ordóñez, 2014)



Ilustración 4: Diferencia de temperatura superficial entre una cubierta vegetal y una normal registrada en Chicago en un día de verano.

Fuente: Tumini, 2012

Elaboración: Propia.

Radiación solar y morfología del cañón urbano

En los cañones urbanos, la radiación solar se experimenta a diferentes estímulos, por un lado, aquella que es emitida directamente por ondas cortas desde la superficie del sol y su descomposición en luz visible y, por otro lado, cuando se emite por ondas largas es invisible para la percepción humana, ya que es emitida por radiación infrarroja, (Cordero Ordóñez, 2014)

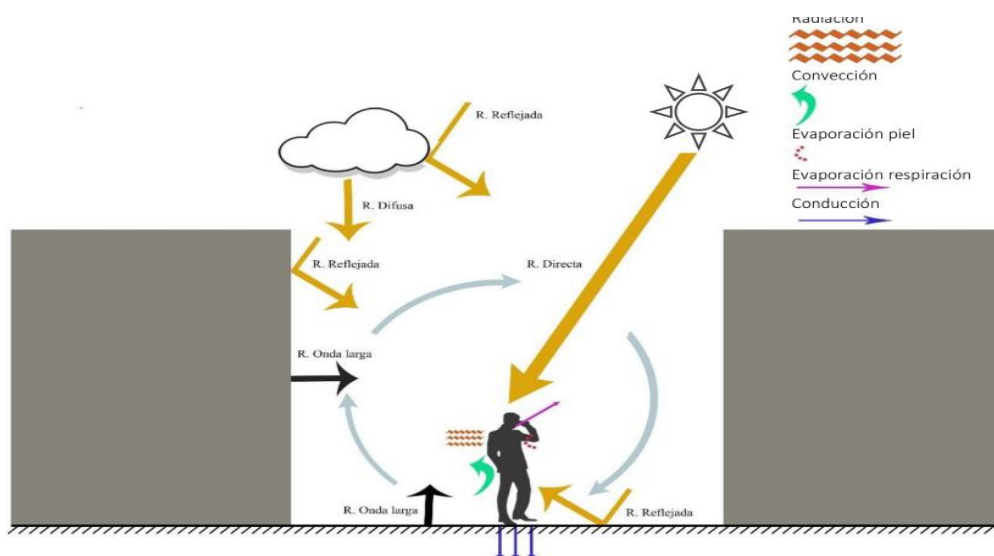


Ilustración 5: Intercambio de energía entre el cuerpo

Fuente: Cordero Ordóñez, 2014

Elaboración: Propia.

Ambas formas son absorbidas por el cuerpo humano e interactúan con el microclima urbano incidiendo directamente en el diseño de vías, altura y orientación de las edificaciones, es decir, de la configuración de los cañones urbanos, puesto que estas condicionantes, en conjunto, crean áreas de sombra, lo cual altera el balance energético el confort térmico en espacios exteriores. Sin embargo, el Ecuador, al estar ubicado geográficamente en la línea ecuatorial y atravesado por la cordillera de los Andes, presenta características climáticas propias como la presencia de energía solar por 12 horas consecutivas.

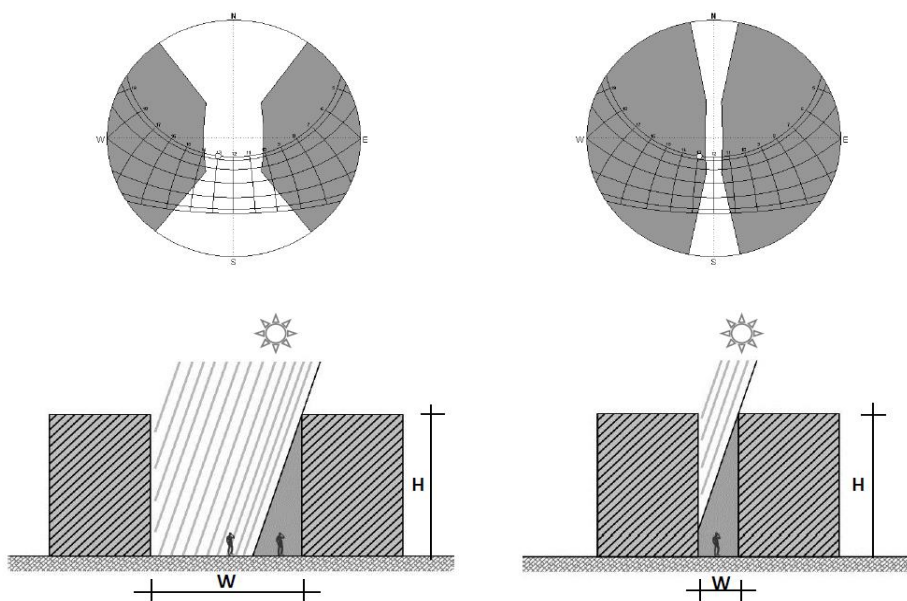


Ilustración 6: Morfología urbana y radiación solar directa

Fuente: Cordero Ordóñez, 2014

Elaboración: Propia.

Vientos

Según Carrasco Aldunate (2008) y Chicas (2012) los vientos son el componente más importante dentro del microclima urbano, puesto que contribuyen en la disipación del calor de las urbes, donde la turbulencia del viento juega un papel imprescindible dentro de la alteración de la temperatura dentro de las ciudades y dependerá directamente de la configuración de la trama urbana, cause de las vías y la densificación urbana.

Oke (1987) señala en su investigación sobre el flujo de aire en las direcciones perpendiculares a los cañones urbanos con diferentes ratios de aspecto que cuando hay una gran separación entre los edificios y la relación de aspecto de H/W es inferior a $1/3$, los flujos de aire se comportan aislados, cuando la relación de H/W es inferior a o igual a 1 , hay interferencia entre las turbulencias opuestas, y cuando la relación de H/W es mayor que 1 , hay movimiento turbulento. (Oke, 1987 como se citó en Cordero Ordóñez, 2014)

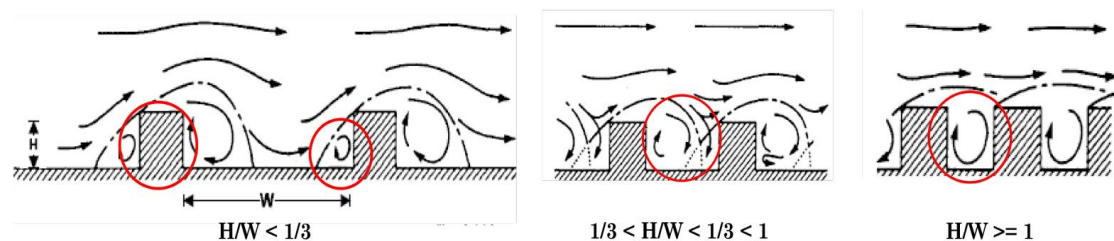


Ilustración 7: Comportamiento del viento en cañones urbanos con diferente relación de aspecto

Fuente: Carrasco, 2008 como citó en Therán et al., 2019

Elaboración: Propia.

Arbolado urbano.

De acuerdo con Vargas & Molina (2014) el arbolado urbano tiene la capacidad de capturar y almacenar de manera directa el CO_2 y la facultad de reducir indirectamente la generación de CO_2 . Sin embargo, se hace hincapié en su capacidad para regular la temperatura ambiente de las ciudades, ya que el área superior creada por el follaje de los árboles y la evaporación de su metabolismo reduce significativamente la temperatura del aire.

Según un estudio realizado en la ciudad de Barranquilla Colombia, “se evidenció que el aire bajo la sombra de los árboles a mediodía en un día soleado es hasta $11,90$ grados centígrados menor que la temperatura del aire a pleno, y esto depende de las características propias de cada especie”. (Vargas & Molina, 2014, p. 102)

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

Para definir la metodológica del presente trabajo de investigación se plantean los criterios que se describen a continuación:

Diseño de investigación.

Para la presente investigación se utilizará una metodología cuantitativa no experimental de tipo transeccional correlacional, puesto que, según Castillo et al. (2019), este tipo de investigación ayudará a estudiar la correlación entre el comportamiento térmico del microclima urbano y los elementos morfológicos, en este caso, el centro histórico de Ibarra.

Este diseño correlacional y el diseño gráfico de isotermas ayudarán a describir la relación entre variables y/o indicadores microclimáticos y morfológicos que inciden directamente en la habitabilidad de espacios exteriores en función de la relación causa – efecto que están ocurriendo en la realidad temporal de la problemática determinada anteriormente.

A continuación, se presenta las técnicas e instrumentos que ayudan a entender la ruta de investigación propuesta en este diseño metodológico:

Técnicas de investigación.

Al igual que Castillo et al. (2019) en la investigación “Geomorfología Urbana. Comportamiento térmico de distintas tramas en áreas de piedemonte: el caso de Mendoza, Argentina”, se utilizarán el estudio de indicadores microclimáticos y morfológicos para cubrir con toda la información relevante.

Caracterización del tramo de estudio.

Se caracteriza los elementos morfológicos de la ciudad. Se selecciona para el diseño metodológico el análisis de un eje norte – sur y otro con dirección este – oeste, que sean ejes principales de conexión del centro histórico con el entorno próximo, nodos conflictivos de circulación vehicular y peatonal, para el levantamiento de información pertinente a la presente investigación.

El eje norte – sur está configurado en la calle Simón Bolívar desde la Av. Alfredo Pérez Guerrero hasta la calle Rafael Troya y por el eje este – oeste la Av. Alfredo Pérez Guerrero entre las calles Sucre y Sánchez y Cifuentes. La caracterización responderá a las características de variables o indicador acorde a la configuración y morfología urbana, sistemas constructivos y forma del cañón urbano.

Monitoreo microclimático.

Con el objetivo de monitorear los indicadores antes mencionados y su relación directa con las actividades humanas se realizarán mediciones in situ con estaciones móviles usando el instrumento Kestrel 3000 a una altura de 1.50 m desplazándose por los ejes de investigación a pie siguiendo la metodología de Oke, 2004 como mencionó Castillo et al. (2019). Se escogieron 4 días típicos soleados y despejados de la época de verano en el Ecuador (junio - septiembre) en un horario determinado por la mañana (9-10 h), medio día (13-14 h) y en la tarde de (16-17 h), llevando un registro de data de la estructura urbana inmediata a cada eje como se propuso en la investigación de Mercado Maldonado & Marincic Lovriha (2017).

De acuerdo con la investigación de Castillo et al. (2019), los datos oficiales del Gobierno Autónomo Descentralizado de Ibarra y con el levantamiento de información in situ con este instrumento se obtienen indicadores y/o variables

morfológicos y microclimáticos que se detallan a continuación:

Nombre	Tipo	Concepto
CODIGO	character	TPG: tramo sobre la Av. Pérez Guerrero. TB: tramo sobre la calle Bolívar. #: Cuadra. AM: mañana, MD: medio día. PM: tarde
FVC	numeric	Factor de visión de cielo
TEMP	numeric	Temperatura ambiente (C)
ESTERM	numeric	Índice por estrés térmico (C)
ESTERMSOM	numeric	Índice por estrés térmico bajo sombra (C)
TEMVIEN	numeric	Temperatura del Viento (C)
VELVIEN	numeric	Velocidad del Viento (m/s)
DIRVIEN	character	Dirección del Viento (NS, EO)
HUMREL	numeric	Humedad relativa (%)
ORIENT	character	Orientación de los tramos de estudio (NS, EO)
ALTITUD	numeric	Altitud (msnm)
LARGO	numeric	Largo de la calle (m)
ANCHO	numeric	Ancho de la vía (m)
ALTUPROM	numeric	Altura promedio de las edificaciones en el tramo de estudio (m)
SUPERFICIE	numeric	Largo x Ancho de la vía (m ²)
CANURB	numeric	(Altura promedio / ancho de la vía) Cañón urbano. Relación del ancho de la vía con la altura promedio de las edificaciones
ARB	numeric	Porcentaje de arbolado en la vía
MATCAL	character	Material de calzada
MATACE	character	Material de acera
NROPAR	numeric	Número de parqueaderos por cada cuadra

Tabla 1: Resumen de Variables

Elaboración: Propia

Análisis estadístico

Para análisis e interpretación de datos del comportamiento térmico en los tramos de estudio se utilizará un **método estadístico multivariado** con ayuda del **software R**, el cual es empleado en la estadística para estudiar el comportamiento simultáneo de tres o más variables y su efecto en un fenómeno o variable dependiente concreta.

Por ello, se construye este análisis estadístico mediante el siguiente proceso:

Análisis de correlación

El coeficiente de correlación de Pearson (muestral) para dos variables x , y , observadas en una muestra de tamaño n , se define como:

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

donde $\bar{z} = (1/n) \sum_{i=1}^n z_i$ es el promedio de las observaciones de cualquier z (Walpole et al., 2010, p. 452)

Los coeficientes de correlación indican el grado en que dos variables están relacionadas linealmente. Este puede ser un número positivo indicando una asociación lineal directamente proporcional, es decir, que cuando una aumenta la otra también aumenta. De la misma forma, este puede ser negativo indicando una asociación lineal inversamente proporcional, en otras palabras, cuando una aumenta la otra disminuye. Pero, también, puede ser nulo indicando la inexistencia de asociación lineal. Se toma valores en el intervalo $[-1,1]$ de forma tal que mientras más cerca de los extremos se encuentre, mayor será el grado de asociación entre las variables.

Componentes principales

Sea \mathbf{Y} la matriz de datos formada por n observaciones de p variables, como sigue:

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_1' \\ \mathbf{y}_2' \\ \vdots \\ \mathbf{y}_n' \end{bmatrix} = [\mathbf{y}_1 \quad \mathbf{y}_2 \quad \cdots \quad \mathbf{y}_p] = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1p} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \cdots & y_{np} \end{bmatrix}$$

Si las p variables están correlacionadas, \mathbf{Y} forma un elipsoide, en otras palabras, una nube de puntos en \mathbb{R}^p , no necesariamente paralela a ninguno de los ejes representados por $\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_p$. Luego, se encuentran los ejes naturales del elipsoide, primeramente, centrando el conjunto restando la media de cada variable y rotando los ejes originales. En esta situación, las variables transformadas ya no están correlacionadas y denominándose desde aquí como *componentes principales* (Rencher & William F, 2012, p. 405)

Donde, $\mathbf{y}_i = [y_{i1} \quad y_{i2} \quad \cdots \quad y_{ip}]'$ la i -ésima de las muestras observadas se dispone como vector columna. Para simplificar la notación, la literatura frecuentemente asume que las variables ya están centradas. Entonces, resta el proceso de rotación de los ejes con centro en la media de las observaciones, esto se consigue multiplicando cada variable por una matriz ortogonal.

Una matriz es ortogonal si y sólo si los vectores de sus filas o columnas son conjuntos de vectores ortonormales. Dados \mathbf{x}, \mathbf{y} dos vectores cualesquiera, se dice que ellos son ortonormales si sus normas son iguales a 1 y $\mathbf{x}'\mathbf{y} = 0$. Recordamos que la norma (o módulo) de un vector en el espacio Euclidiano es la raíz cuadrada de la suma del cuadrado de sus componentes. También recordamos que Si \mathbf{A} es una matriz ortogonal, $\mathbf{A}'\mathbf{A} = \mathbf{I}$.

Entonces, se trata de obtener los vectores $\mathbf{z}_i = \mathbf{A}\mathbf{y}_i$ con \mathbf{A} ortogonal. Nótese que la distancia al origen de ambos vectores no cambia, ya que:

$$\mathbf{z}_i' \mathbf{z}_i = (\mathbf{A}\mathbf{y}_i)' \mathbf{A}\mathbf{y}_i = \mathbf{y}_i' \mathbf{A}' \mathbf{A}\mathbf{y}_i = \mathbf{y}_i' \mathbf{y}_i$$

Como $\mathbf{z}_i = \mathbf{A}\mathbf{y}_i$ entonces $V[\mathbf{z}_i] = V[\mathbf{A}\mathbf{y}_i] = \mathbf{A}V[\mathbf{y}_i]\mathbf{A}'$. Si llamamos $\hat{V}[\mathbf{y}_i] = \mathbf{S}$, a la matriz de varianzas y covarianzas muestral, entonces es claro que $\mathbf{S}_z = \mathbf{A}\mathbf{S}\mathbf{A}'$. Entonces, buscamos \mathbf{A} tal que \mathbf{S}_z resulte una matriz diagonal como sigue:

$$\mathbf{S}_z = \mathbf{A}\mathbf{S}\mathbf{A}' = \begin{bmatrix} s_{z_1}^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & s_{z_2}^2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & s_{z_p}^2 \end{bmatrix}$$

Ya que queremos que las nuevas variables \mathbf{z}_i resulten no correlacionadas.

Ahora bien, sea \mathbf{W} una matriz cualquiera, entonces $\mathbf{C}'\mathbf{W}\mathbf{C} = \text{Diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p)$ cuando los λ 's son los valores propios de \mathbf{W} y \mathbf{C} se constituye con los vectores propios correspondientes (ortonormalizados). Entonces, claramente, $\mathbf{A} = \mathbf{C}'$ es la matriz que buscamos. Nótese que

$$\mathbf{A} = \mathbf{C}' = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_1' \\ \mathbf{a}_2' \\ \vdots \\ \mathbf{a}_p' \end{bmatrix}$$

donde \mathbf{a}_i' es el i -ésimo vector propio (ortonormalizado) de \mathbf{S} . Entonces los *componentes principales* son los $z_1 = \mathbf{a}_1' \mathbf{y}_i, z_2 = \mathbf{a}_2' \mathbf{y}_i, \dots, z_p = \mathbf{a}_p' \mathbf{y}_i$.

Por otra parte, $\mathbf{S}_z = \mathbf{A}\mathbf{S}\mathbf{A}'$ resulta una matriz diagonal cuyos elementos son los valores propios de \mathbf{S} , pero también, las varianzas muestrales de los

componentes principales z_i . Esto es, $s_{z_i}^2 = \lambda_i$. Debido a esto, se habla de la **varianza explicada** por el k -ésimo componente principal como:

$$VE_k = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_k}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_k}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_k}{tz(\mathbf{S})}$$

Resulta entonces claro que aquel componente que se corresponde con el mayor valor propio es el primer componente principal, aquel que se corresponde con el segundo mayor valor propio, es el segundo componente principal y así sucesivamente.

El análisis de componentes principales se utiliza como técnica de reducción de la dimensionalidad, esto es, en la búsqueda de extraer el máximo de información contenida en las variables originales, mediante combinaciones lineales ortogonales que permitan retener un menor número de variables. En el proceso, también resulta muy útil para identificar grupos de variables asociadas con cada componente, generalmente los dos primeros de ellos.

Modelos lineales

El *Modelo lineal general* se define de acuerdo con la teoría propuesta por Puntanen (2008):

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\epsilon}$$

donde,

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nk} \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\epsilon} = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix}$$

- Se postula que la variable respuesta y depende de un intercepto y k variables explicativas o regresoras $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_k$.

- También debemos enfatizar que tenemos n observaciones del conjunto $\{\mathbf{y}, \mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_k\}$.
- Se proponen $k + 1$ parámetros desconocidos $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$. La linealidad del modelo es necesaria en la relación entre los parámetros, pero no se exige entre las variables.

\mathbf{X} se denomina **matriz de diseño** y es una matriz de constantes conocidas, $\boldsymbol{\beta}$ es un vector de constantes desconocidas cuyos elementos deben encontrarse a partir de los datos, $\boldsymbol{\epsilon}$ es un vector aleatorio no observable, luego \mathbf{y} es un vector aleatorio, ya que resulta de sumar un vector de constantes y un vector aleatorio.

Por lo general se hacen los siguientes supuestos:

- $E[\boldsymbol{\epsilon}] = \mathbf{0} \Rightarrow E[\mathbf{y}] = \boldsymbol{\mu} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}$
- $V[\boldsymbol{\epsilon}] = V[\mathbf{y}] = \boldsymbol{\Sigma} = \sigma^2\mathbf{I}$.
- $n > k + 1$
- $rg(\mathbf{X}) = k + 1$ para el modelo de regresión lineal.
- $rg(\mathbf{X}) < k + 1$ para el modelo de análisis de la varianza.
- $\boldsymbol{\epsilon} \sim Normal(0, \sigma^2)$.

En los elementos de $\boldsymbol{\beta}$ se denominan *coeficientes de regresión* y se estiman mediante la forma lineal $\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{y}$ para el caso de rango completo o utilizando la inversa generalizada, para el caso de rango incompleto.

Usando el Teorema del límite central de Ziegel & Lehmann (2000), es posible encontrar las distribuciones de probabilidad de los estimadores, con las que se pueden contrastar hipótesis. Una de las principales hipótesis a estudiar es que dichos parámetros son nulos. En caso de confirmarse, se concluye que las variables asociadas no aportan a la explicación de la respuesta. En caso

contrario se dice que la variable es significativa en el aporte a dicha explicación y puede comentarse sobre la magnitud del aporte (representada por el valor del coeficiente estimado) y sobre el sentido del aporte (directa o inversamente proporcional).

El mencionado Teorema central del límite establece que, sin importar la distribución de probabilidades de la cual provengan los errores, si el tamaño muestral es suficientemente grande, el comportamiento de las medias es asintóticamente normal, desviaciones leves del supuesto de normalidad no afectan de gran manera los resultados que se desprenden del modelo, haciendo que sus conclusiones sean considerablemente robustas.

Isotermas

A pesar de las limitantes estudiadas en capítulos anteriores es imprescindible exponer mediante cartografías los puntos críticos, con mayor efecto del fenómeno de Isla de Calor Urbano, mediante el uso de programas de sistema de información geográfica SIG con la finalidad de obtener cartografía que muestre la intensidad de calor en el territorio y con ello, comprender de mejor manera los resultados de correlación de las variables estadísticamente analizadas.

Para el éxito de este trabajo de investigación es necesario enfatizar en el diseño de investigación correlacional, puesto que es necesario el análisis de diferentes variables, indicadores, datos e información in situ, puesto que, ayudaran a reconocer los factores externos que provocan los cambios de temperatura y el origen a islas de calor urbano en el centro histórico de Ibarra y su área de influencia.

CAPÍTULO III RESULTADOS

Una vez aplicada la metodología de investigación sobre los ejes de la Av. Pérez Guerrero y calle Bolívar se realizan 156 observaciones sobre 20 variables para el posterior procesamiento estadístico en el software R (Ver Anexo 1 y 2). En ese sentido, para un mejor entendimiento en la Tabla 2 se muestra el resumen de la media tanto de variables microclimáticas y morfológicas analizadas que se describen a continuación:

Código	Variables		
TPG	Microclimático	TEMP máxima (°C)	29.89
		TEMP mínima (°C)	20.89
		TEMP promedio (°C)	24.35
		TEMVIEN (°C)	24.20
		DIRVIEN	EO
	Morfológica	ORIENT	EO
		CANURB (%)	0.41
		ARB (%)	23.79
		MATCAL	P
		MATACE	Q
NROPAR (%)	0		
TB	Microclimático	TEMP máxima (°C)	32.89
		TEMP mínima (°C)	21.60
		TEMP promedio (°C)	25.85
		TEMVIEN (°C)	25.93
		DIRVIEN	NS
	Morfológica	ORIENT	NS
		CANURB (%)	0.62
		ARB (%)	0.00
		MATCAL	T, P
		MATACE	C, Q, H
NROPAR (%)	13.40		

Tabla 2: Media de resultados

Elaboración: Propia

Aquí se puede apreciar por un lado, que el eje del TPG tiene una orientación de vía y dirección de viento este – oeste, 23.79% de arborización, menor relación de cañón urbano 0.41 y material de calzada de piedra lija, mientras que, el eje TB está orientado de norte – sur al igual que la dirección de viento, 0% de arborización, una relación de cañón urbano de 0.62 y diversas capas de rodadura dentro del eje, lo cual da a priori la noción de las diferencias en la composición microclimática y morfológica entre ambos ejes de estudio.

Conducta térmica de los ejes de estudio

En la Ilustración 8 se presenta el comportamiento térmico promedio para el eje de la Av. Pérez Guerrero (TPG) y calle Bolívar (TB) monitoreado en un día típico in situ. En ella se muestra como referencia el comportamiento de la temperatura promedio de tres horarios diferentes el día 27 de septiembre de 2021. Se seleccionó este día, puesto que cumple con las condicionantes meteorológicas adecuadas (cielo despejado, día claro y baja velocidad de vientos y humedad relativa). El propósito es determinar las particularidades microclimáticas y morfológicas propias de cada eje dividido en tramos de estudio.

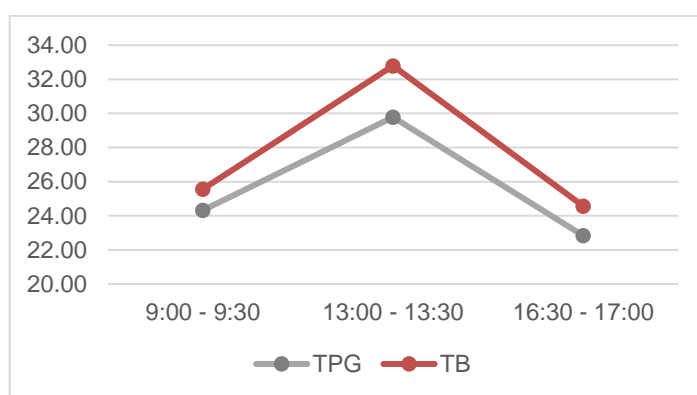


Ilustración 8: Temperatura ambiente promedio monitoreada sobre los ejes de estudio, día 27 de septiembre de 2021

Elaboración: Propia

Aquí se muestra una diferencia significativa de la temperatura promedio entre los ejes TPG y TB, puesto que según los datos recolectados la temperatura recolectada en el eje de la calle Bolívar es superior con respecto al eje de la Av. Pérez Guerrero con una diferencia de 1.22°C en el horario de 9:00 – 9:30 horas, 3.01°C de 13:00 – 13:30 horas y 1.73°C en el horario de 16:30 – 17:00 horas, siendo más perceptible la varianza de la temperatura máxima al medio día en relación con las temperaturas registradas en horas de la mañana y tarde.

Cabe mencionar que este patrón se repite en los 4 días que se tomaron las muestras en los tres horarios establecidos, por ello, en la Ilustración 10 se evidencia la incidencia de la temperatura en los ejes de estudio, denotando claramente que las temperaturas dentro del eje TB son significativamente mayores con respecto al eje TPG como se indica en la ilustración 9.

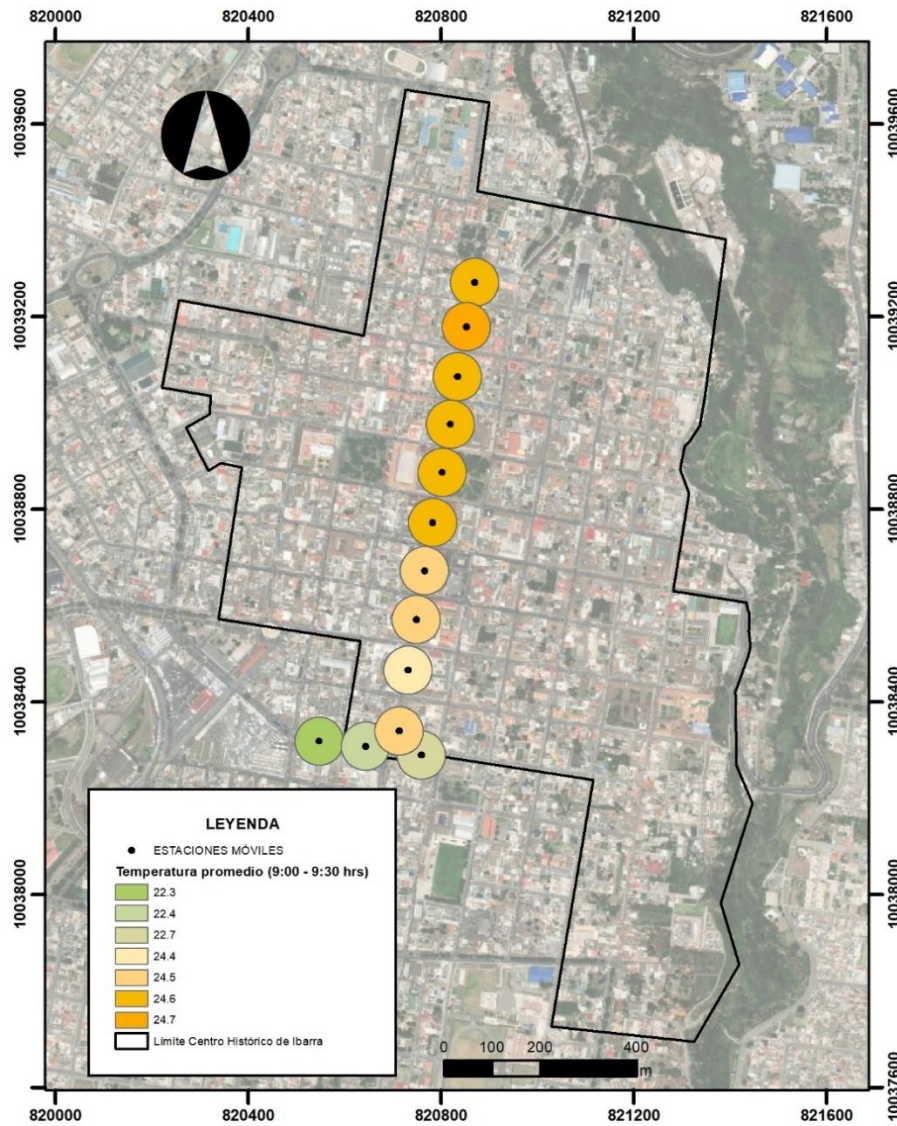


Ilustración 9: Temperatura promedio (9:00 a 9:30 horas)

Elaboración: Propia

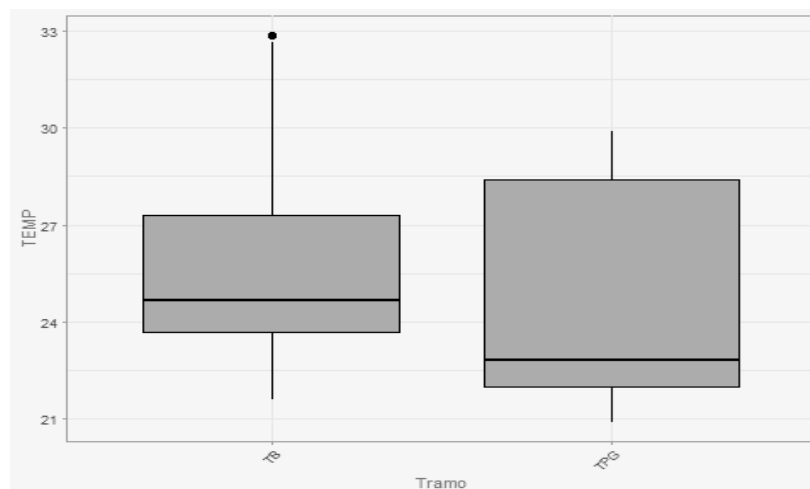


Ilustración 10: Diagrama de cajas de temperatura por tramos

Elaboración: Propia

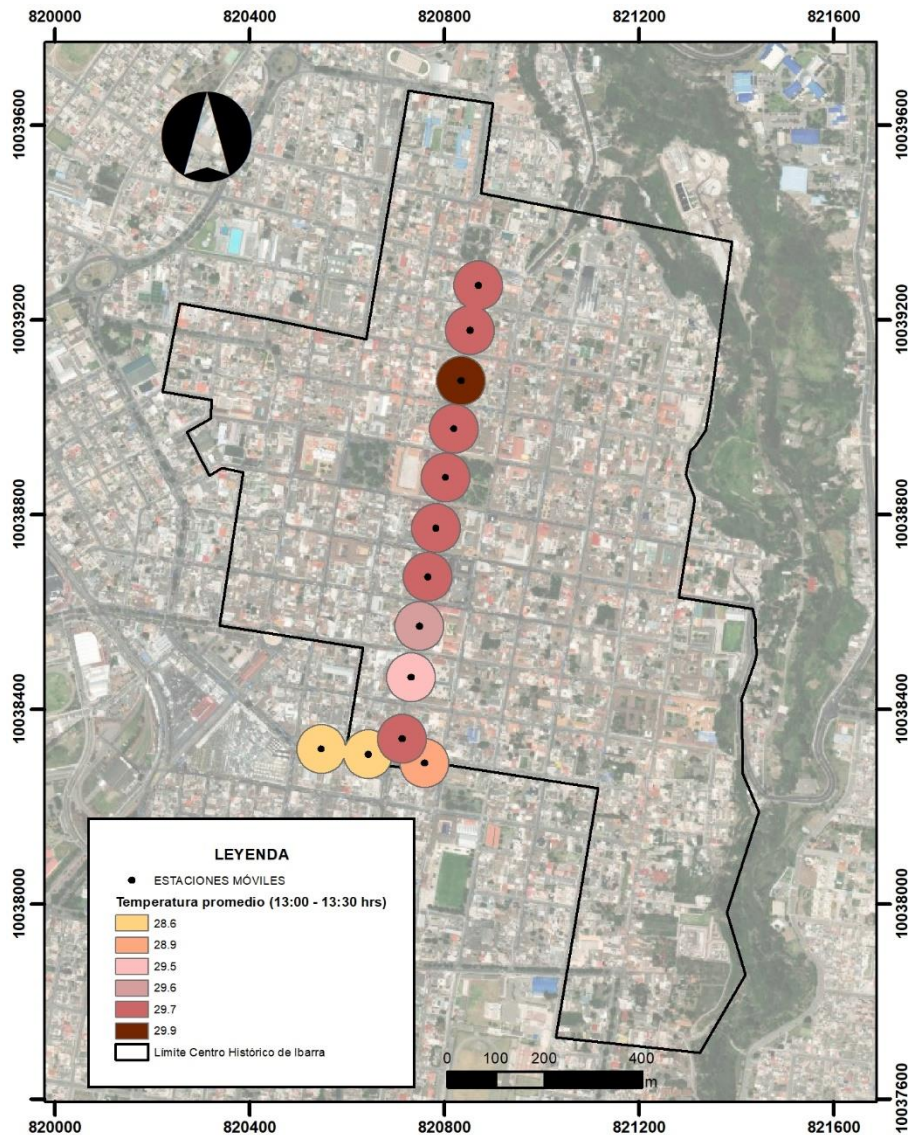


Ilustración 11: Temperatura promedio (13:00 a 13:30 horas)

Elaboración: Propia

Así pues, la variancia de temperatura en los tres horarios establecidos con el análisis los datos recolectados en el horario de 13:00 a 13:30 horas son significativamente mayores en ambos ejes de estudio a comparación a las tomadas de 16:30 a 17:00 horas, como se muestra en las Ilustraciones 11 y 12 estas temperaturas promedio varían entre 6.8°C y 6.5°C, sin embargo, esta varianza térmica es significativa y notable cuando se comparan los resultados obtenidos en el eje TB con los del eje TPG lo cual tiene congruencia con lo descrito anteriormente.

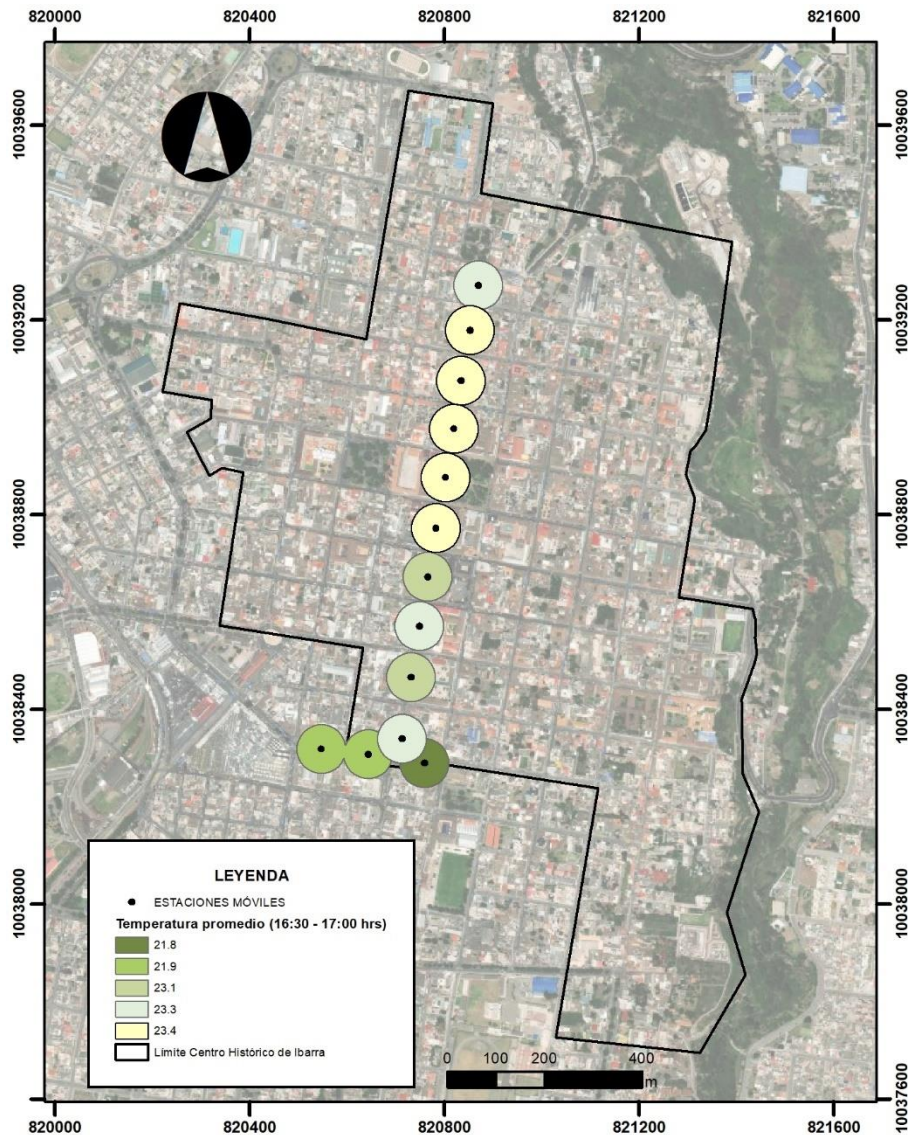


Ilustración 12: Temperatura promedio (16:30 a 17:00 horas)

Elaboración: Propia

Estos resultados están relacionados por la diferencia en la correlación de las variables morfológicas y microclimáticas analizadas en los tramos de estudio. A consecuencia de esto, se evidencia, en la Tabla 3, que las muestras tomadas al medio día arrojan que la temperatura máxima varía en 6.34°C en TPG y TB, lo cual se corrobora mediante el geoprocesamiento de Isotermas del Centro Histórico de Ibarra. Es así como en la Ilustración 13 se muestra como el calor se concentra en el centro de la ciudad y se aligera conforme va apartándose del núcleo urbano haciendo notable la varianza de la conducta térmica dentro de los tramos de estudio.

Media	29.472
Error típico	0.279
Mediana	29.43
Moda	29.889
Desviación estándar	2.011
Varianza de la muestra	4.045
Curtosis	-0.636
Coficiente de asimetría	0.299
Rango	6.333
Mínimo	26.556
Máximo	32.889
Suma	1532.533
Cuenta	52
Nivel de confianza(90.0%)	0.467

Tabla 3: Estadística descriptiva de temperaturas máximas en los tramos de estudio.

Elaboración: Propia

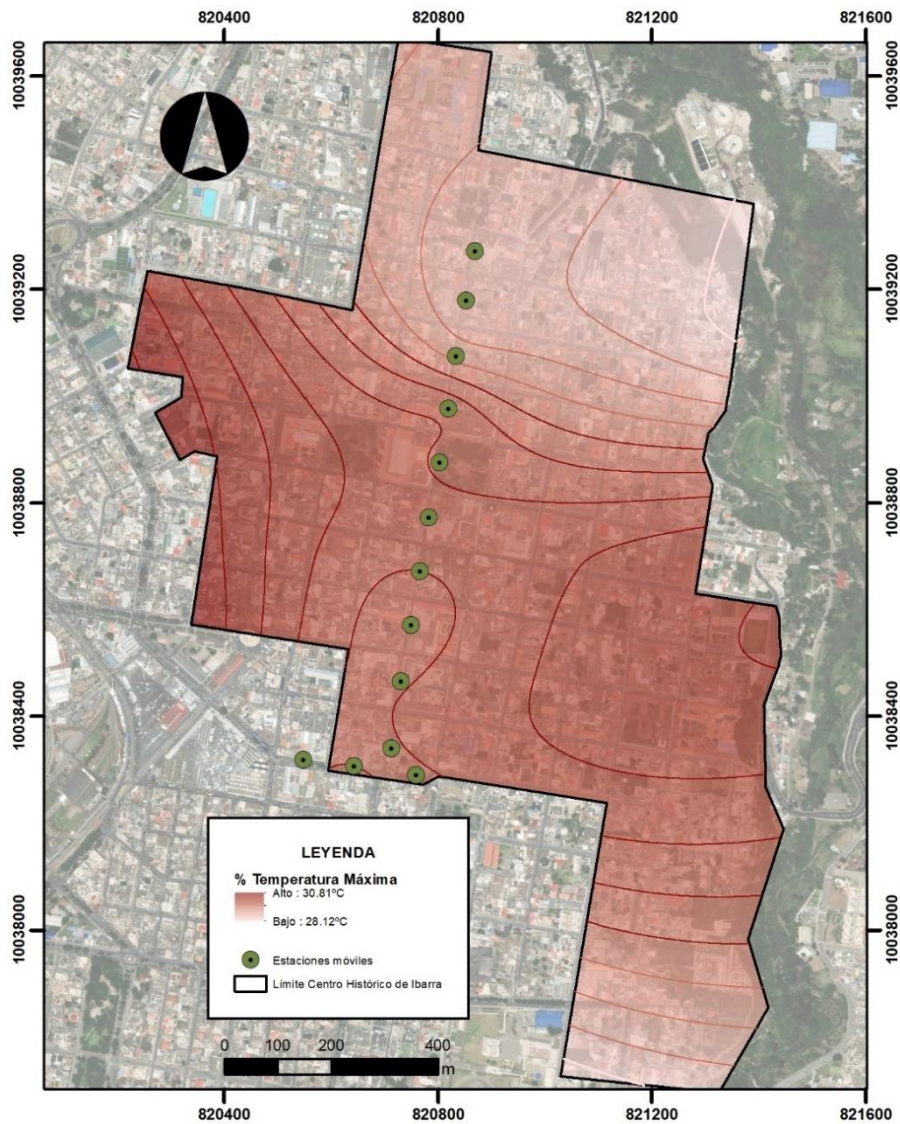


Ilustración 13: Isotherma - Centro Histórico de Ibarra

Elaboración: Propia

Análisis estadístico

Análisis de correlación

Los resultados obtenidos de la matriz de correlación Pearson (n) de variables cuantitativas indica que las variables asociadas al microclimática están fuertemente correlacionadas entre sí. Esto se evidencia en la Ilustración 14 donde queda claro que estas variables se agrupan dentro de los parámetros establecidos en el capítulo de metodología, es decir se acercan significativamente al intervalo de correlación 1 y -1. Lo mismo ocurre con las variables morfológicas donde se constata una alta correlación entre estas, sin embargo, en la misma ilustración se evidencia que entre las variables microclimáticas y morfológicas no se existe una correlación significativa, a través del uso de este instrumento estadístico.

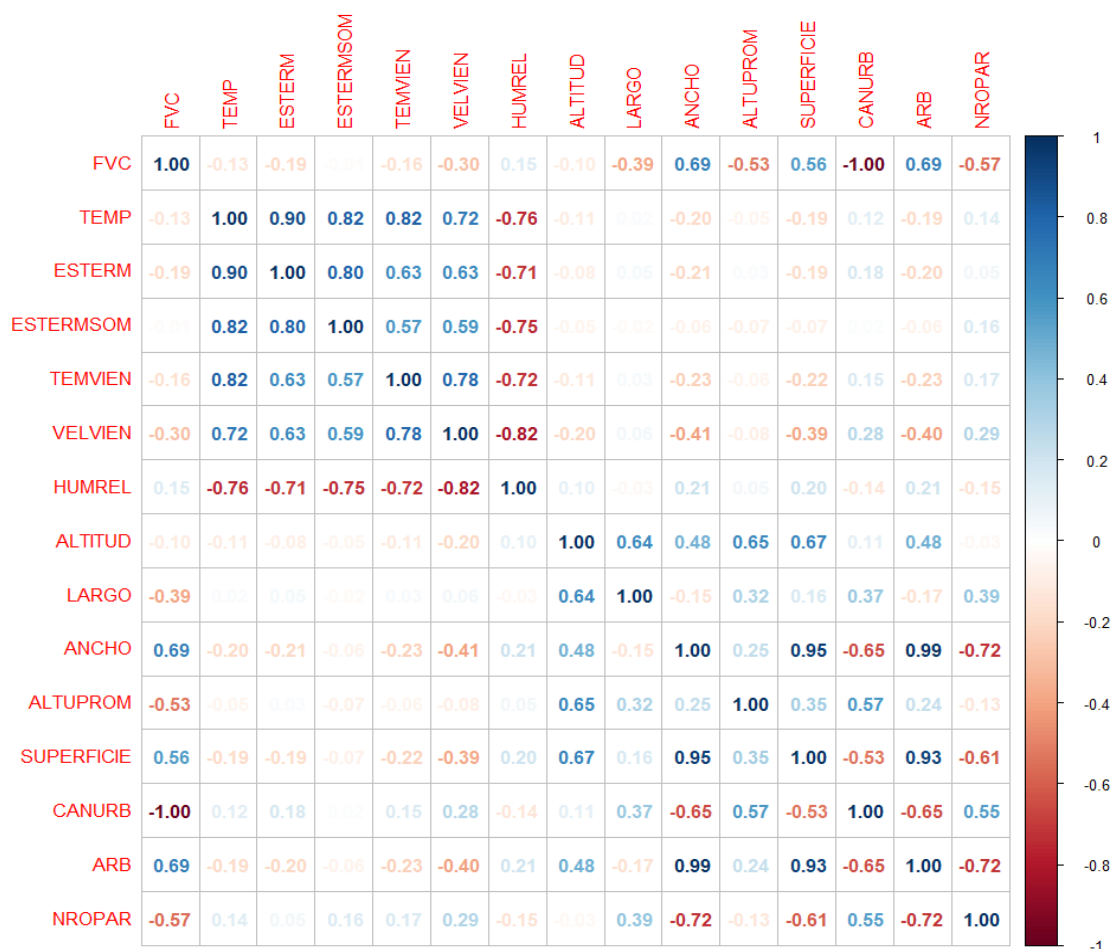


Ilustración 14: Matriz de correlación de variables cuantitativas

Elaboración: Propia

Estos resultados obtenidos anteriormente se complementan con el análisis de variables y observaciones Biplot, mismo que es una representación gráfica de datos multivariantes. En la Ilustración 15 se evidencia la conformación de tres grupos de observaciones, signados uno de ellos por las variables de temperatura (primer cuadrante), otro por las variables morfológicas (segundo cuadrante) y otro con las restantes (tercer y cuarto cuadrante), dando fuerza a los resultados obtenidos en la matriz de correlaciones, puesto que, los cuadrantes 1 y 3 están altamente correlacionadas y de la misma manera las variables de los cuadrantes 2 y 4, sin embargo, entre ambos grupos no se vislumbra una correlación importante y significativa (se muestran perpendiculares).

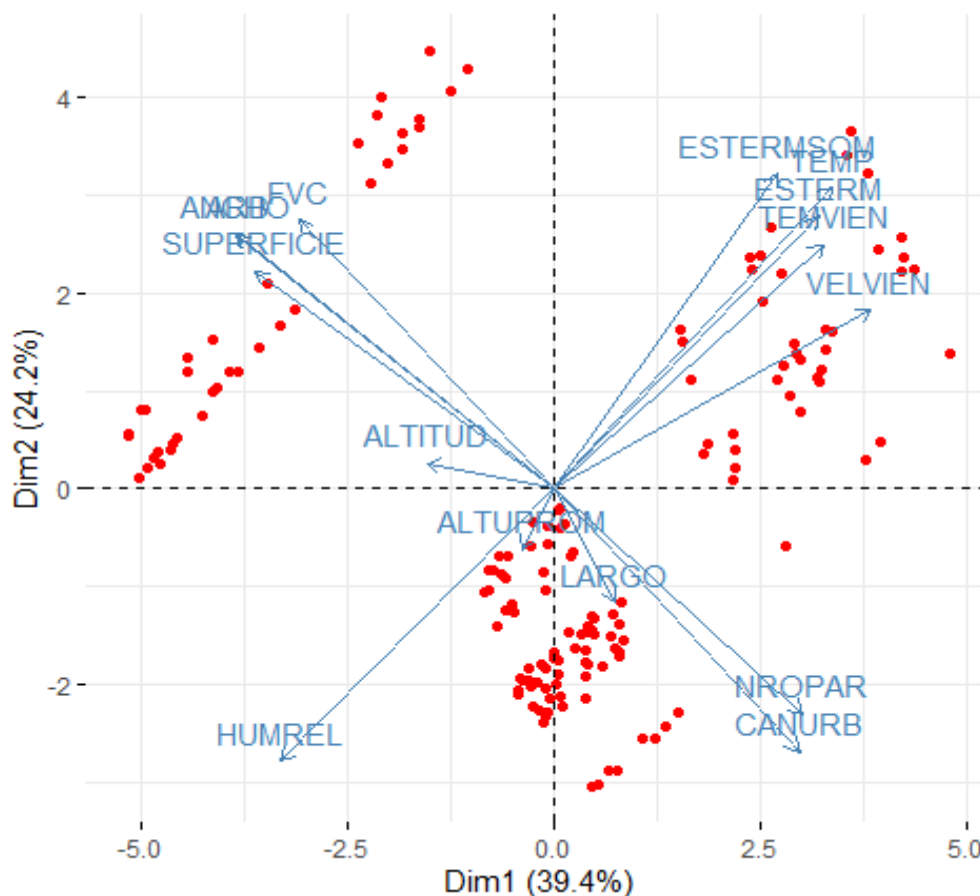


Ilustración 15: Biplot de variables y observaciones

Elaboración: Propia

Análisis de componentes principales (ACP)

Los resultados de este análisis muestran el comportamiento de las variables numéricas del conjunto y sus varianzas como técnica de reducción de la dimensionalidad del espacio de las variables como se puede observar en la Tabla 4, lo cual se traduce a que existen 15 PC (*Principal Components por sus siglas en inglés*) con una varianza notable, sin embargo, esto funciona preservando conjuntamente los tres primeros componentes, puesto que, con ellos se constata un alto porcentaje de la variabilidad de los datos (82,21%) como se indica en la ilustración 16.

Componente	Desv. Est.	Prop. Var.	Prop. Acum.
PC1	2.4313	0.3941	0.3941
PC2	1.9059	0.2422	0.6363
PC3	1.6697	0.1859	0.8221
PC4	1.0161	0.0688	0.8910
PC5	0.7510	0.0376	0.9286
PC6	0.6259	0.0261	0.9547
PC7	0.5610	0.0210	0.9757
PC8	0.3647	0.0089	0.9845
PC9	0.3326	0.0074	0.9919
PC10	0.2498	0.0042	0.9961
PC11	0.2103	0.0030	0.9990
PC12	0.1152	0.0009	0.9999
PC13	0.0319	0.0001	1.0000
PC14	0.0237	0.0000	1.0000
PC15	0.0000	0.0000	1.0000

Tabla 4: Análisis de componentes principales (ACP)

Elaboración: Propia

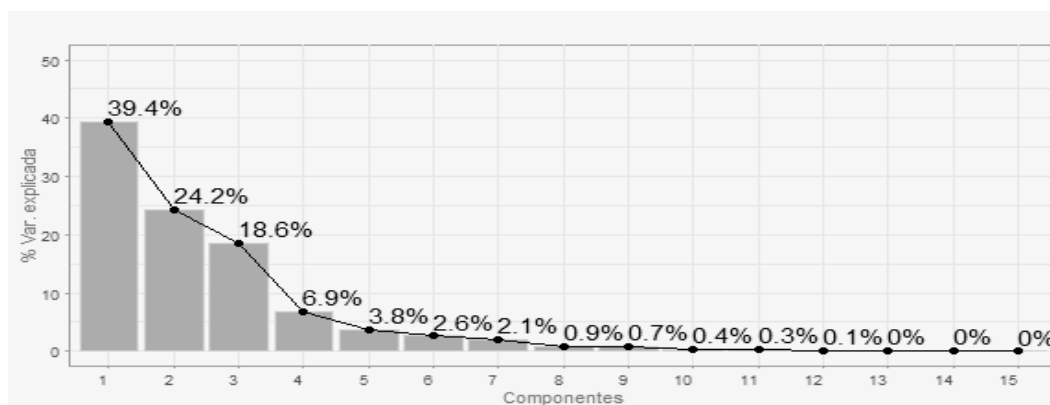


Ilustración 16: Varianzas por componente

Elaboración: Propia

Modelos lineales

A través de los modelos estadísticos grupales previamente analizados, se determina la necesidad de implementar modelos de varianza **ANOVA** de dos en dos para variables significativas ($\alpha = 0,1$) relacionadas con la temperatura (TEMP) y velocidad del viento (VELVIEN)

TEMP vs.	Subcategoría	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
ARB	-	-0.0615	0.0250	-2.462	0.0149 *
OTIENT	ORIENTNS	1.503	0.5995	2.507	0.0132 *
MATCAL	MATCALP	1.317	0.7506	1.755	0.0813 .
	MATCALT	1.569	0.7692	2.041	0.0430 *
MATACE	MATACEH	0.0462	0.6732	0.0686	0.9454
	MATACEQ	-0.958	0.5830	-1.6432	0.1024

Sig: 0'****' 0.001'***' 0.01'**' 0.05'.' 0.1' ' 1

Tabla 5: Modelo lineal ANOVA – análisis de varianza de temperatura vs otras variables

Elaboración: Propia

En primera instancia, se analizan estos modelos lineales tomando en cuenta a la temperatura (TEMP) como variable respuesta frente a variables predominantes como la arborización (ARB), orientación de las vías (ORIENT) y materiales de calzada (MATCAL) y acera (MATACE), considerando el grado de significancia con el 90% de confianza ($\alpha = 0,1$ rechazo de hipótesis si $Pr \leq \alpha/2$) y de esa manera encontrar diferencias estadísticamente significativas entre variables estudiadas.

Como resultado de este análisis, se determina que la temperatura resulta estadísticamente significativa con las variables de arborización, orientación de las vías y materiales de calzada, mientras que con la variable de materiales de acera carece de algún tipo de correlación significativa. En cuanto a la correlación con la variable ARB existe un incremento inversamente proporcional, tal y como se aprecia en la Ilustración 17, donde por cada unidad de incremento de esta variable la temperatura disminuye, en este caso puntual, en 0.06°C.

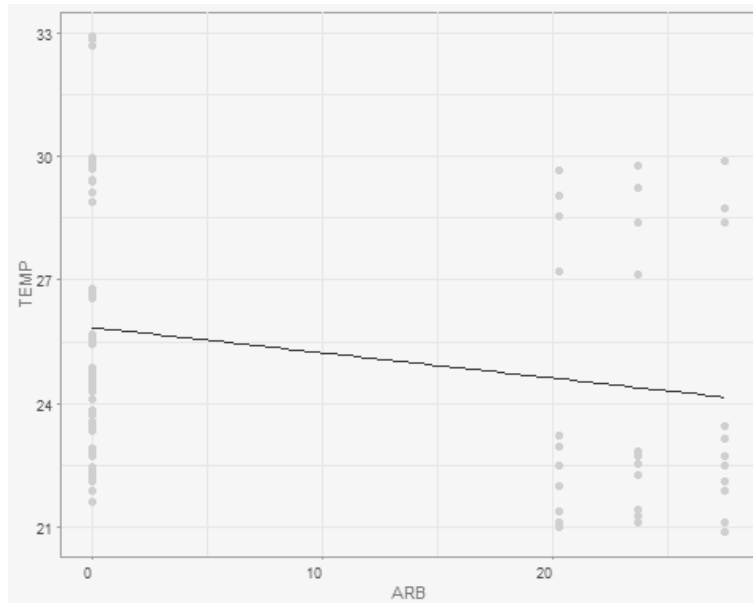


Ilustración 17: Recta de regresión ajustada TEMP vs. ARB

Elaboración: Propia

Por otro lado, como se observa en la Ilustración 18 la variable orientación de las vías con relación a la temperatura tiene un crecimiento directamente proporcional donde, la orientación norte – sur (NS) tiene mayor significancia en el aumento de temperatura, es decir, incrementa 1.5°C a la temperatura registrada.

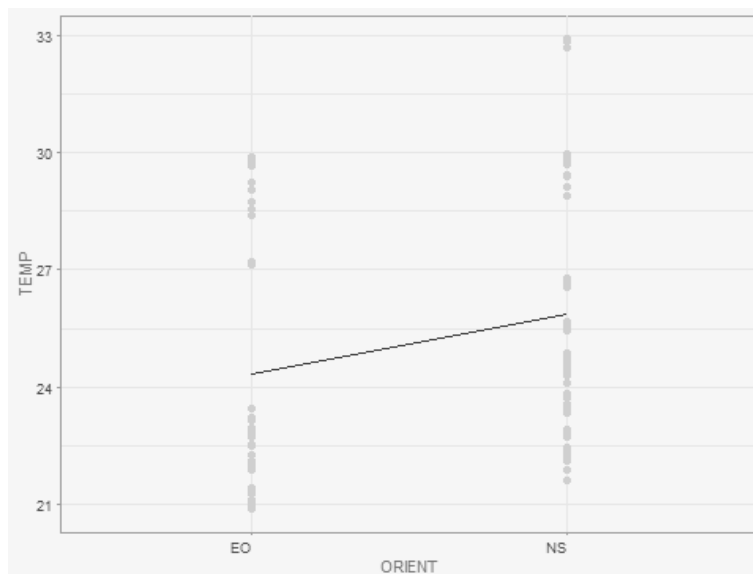


Ilustración 18: Recta de regresión ajustada TEMP vs. ORIENT

Elaboración: Propia

El mismo efecto se tiene con la variable materiales de calzada, puesto que, en la Ilustración 19, se comprueba que los materiales P (*adoquín de piedra*), tiene el efecto de incrementar en 1.32°C la temperatura, mientras que A (*adoquín*) y T (*adoquín de piedra tallada*), tiene el efecto de incrementarla en 1.57°C.

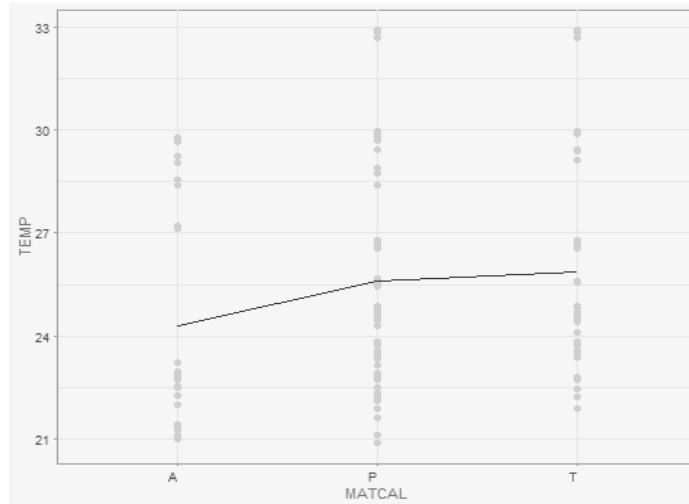


Ilustración 19: Recta de regresión ajustada TEMP vs. MATCAL.

Elaboración: Propia

Al igual que con la variable TEMP, en este caso se considera a VELVIEN como variable respuesta del modelo lineal ANOVA frente a variables predominantes como altura promedio de las edificaciones en el tramo de estudio (ALTUPROM), cañón urbano (CANURB) y ancho de vía (ANCHO).

VELVIEN vs.	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
ALTUPROM	-0.0282	0.0281	-1.005	0.3166
CANURB	0.949	0.2611	3.635	0.0004 ***
ANCHO	-0.0558	0.0101	-5.54	0.0000 ***

Sig: 0'***' 0.001'***' 0.01'***' 0.05'.' 0.1'.' 1

Tabla 6: Modelo lineal ANOVA – análisis de varianza de velocidad del viento vs otras variables

Elaboración: Propia

Al igual que en el modelo lineal anterior se conserva el 90% de confianza para el análisis de correlación. Por un lado, se constata que ALTUPROM no resulta significativo en con la VELVIEN, puesto que las alturas no producen una

diferencia apreciable en dicha variable. Sin embargo, en la correlación entre VELVIEN vs CANURB se comprueba un incremento directamente proporcional en dicha variable de 0.95 en la velocidad del viento, tal y como se indica en la Ilustración 20.

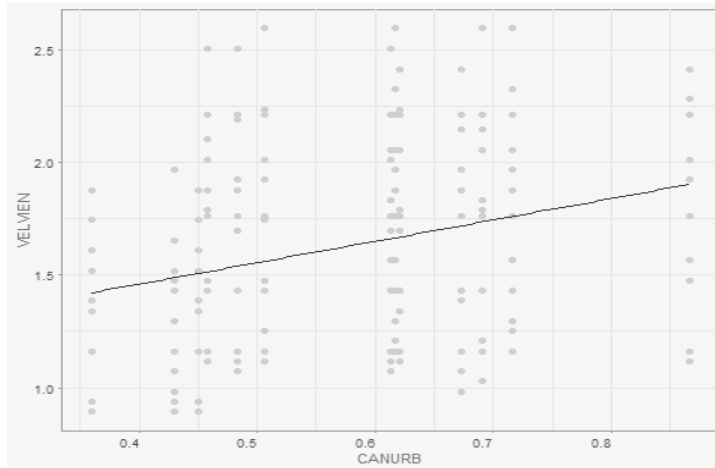


Ilustración 20: Recta de regresión ajustada VELVIEN vs. CANURB

Elaboración: Propia

Así mismo, con respecto al análisis VELVIEN vs. ANCHO, se constata en los resultados que con el 90% de confianza el ancho de la vía resulta significativo en la explicación de la velocidad del viento. Como se indica en la Ilustración 21, esta variable tiene un incremento inversamente proporcional, donde el ancho de vía disminuye apreciablemente la velocidad de viento en 0.06.

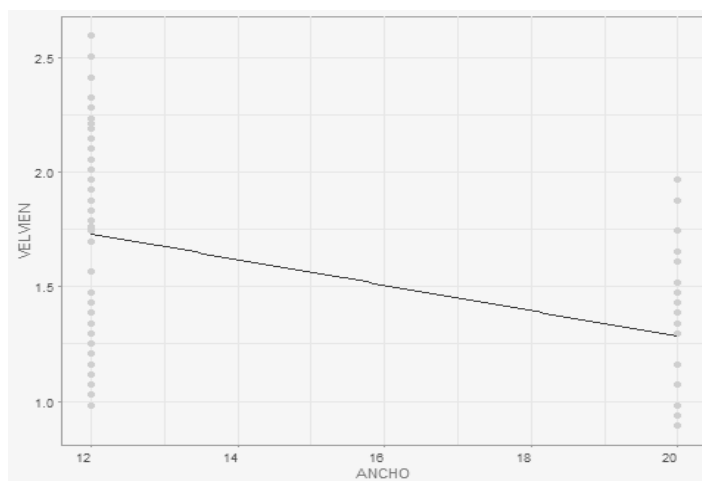


Ilustración 21: Recta de regresión ajustada VELVIEN vs. ANCHO

Elaboración: Propia

CAPÍTULO IV DISCUSIÓN

La isla de calor urbano es un fenómeno cada día más común en las urbes sin importar su tamaño o posición geográfica, puesto que de acuerdo la CEPAL, (2017) en determinado momento del día es mayormente perceptible y aqueja a muchas personas alrededor del mundo, todo esto a consecuencia de la acelerada urbanización, la configuración urbana y la carente planificación sostenible de los territorios a través del tiempo.

Esto ha provocado que, a nivel mundial exista gran interés en la investigación del cambio climático dentro de las ciudades, tal es el caso de Oke, 1930; Bustamante Campoverde, 2018; Maldonado González, 2019; Tumini, 2012; Voogt, 2007, Castillo et al., 2019; entre otros, quienes han aportado dentro el conocimiento científico metodologías, técnicas y herramientas para entender las posibles causas, efectos y soluciones que pudiesen existir en cada particular, sin embargo, el más común entre ellos es el análisis de imágenes LANSAD 8+ lo cual limita el estudio e interpretación del fenómeno ICU en escala menor. Cabe mencionar que, en la última década, se ha implementado la correlación de variables microclimáticas y morfológicas mediante el análisis estadístico para encontrar la caracterización específica de cada urbe.

Con la necesidad de difundir los datos evaluados y ampliar la red de conocimientos, en el capítulo de resultados se mencionan las 156 observaciones sobre las 20 variables procesados, donde se enfatiza la divulgación investigativa a través del análisis de variables microclimáticas y morfológicas que están estrechamente relacionadas con la incidencia del fenómeno de Islas de Calor Urbano en los ejes de estudio.

Respecto al recuento de temperatura in situ, se constata la diferencia en las temperaturas máxima, mínima y promedio en los ejes de estudio, denotando temperaturas inferiores en el eje de la Av. Pérez Guerrero respecto al eje de la

calle Bolívar, esto puede ser a consecuencia de la configuración morfológica de uno de ellas, denotando la mayor diferencia de temperatura al medio día (horario de 13:00 – 13:30 horas) con una varianza en la temperatura entre 3 y 6°C, evidenciando, mediante el geoprocesamiento de isotermas la carencia de confort térmico e indicios del fenómeno de Islas de Calor Urbano dentro de la ciudad.

Se enfatiza en la importancia de los datos obtenidos de la variable de temperatura monitoreada en los ejes de estudio, puesto que según el PDOT del GADM Ibarra, se indica que “la temperatura máxima de la cabecera cantonal oscila de 24°C a 26°C” (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra, 2020, p. 61), frente a las obtenidas in situ en un rango de 29.89°C a 32.89°C, lo cual da fuerza a que en la ciudad de Ibarra, específicamente dentro del centro histórico existe la presencia de Islas de Calor Urbano.

Por otro lado, las variables microclimáticas que se están directamente relacionadas con la variación de la temperatura en los ejes de estudio son la dirección del viento (DIRVIEN) y la velocidad de viento (VELVIEN), ya que, geográficamente dentro de la urbe, el eje TPG se orienta con dirección este – oeste mientras que el eje TB con dirección norte – sur, lo cual incide en la varianza significativa de temperatura una de la otra, de la misma forma que Castillo et al. (2019) en su investigación analiza la orientación de la trama urbana para comprender como estas variables calman o agravan los efectos de la ICU.

Así mismo, dentro de esta investigación las variables morfológicas significativas son el análisis del cañón urbano, ancho de vía, materiales de calzada y el porcentaje de arborización. Estas variables se ven directamente relacionadas con la temperatura e invitan a realizar estudios complementarios a futuro respecto a la configuración de los ejes viales, incidencia de los materiales de la calzada en la absorción, retención y emisión de calor.

Ahora bien, es imprescindible destacar los resultados obtenidos en la matriz de correlación de variables, puesto que, en este análisis cuantitativo, se demuestra que las variables microclimáticas y morfológicas no muestran una correlación significativa entre ellas, esto puede estar relacionado con el número de muestras in situ donde se debe agrandar el umbral y la dimensión de datos. Esto no es un caso atípico, puesto que en otros estudios como el de Castillo et al. (2019) las autoras depuran el número de variables significativas para determinar la incidencia de ICU en la ciudad de Mendoza, Argentina. Sin embargo, en esta investigación es preciso el análisis de variables mixtas, mediante modelos lineales ANOVA de dos en dos variables, una con un enfoque de respuesta frente a otra variable predominante de interés.

En estos modelos lineales se separarán en dos grupos importantes de correlación. Por un lado, las que están directamente relacionadas con la temperatura y las que por su configuración morfológica se relacionan con la velocidad del viento.

Es así, que una, de las variables directamente relacionadas con la temperatura es el material de la calzada, puesto que se corrobora el efecto incremental de la temperatura de hasta 1.57°C , que, de acuerdo con Ranchal (2004), la importancia de los materiales está relacionado con los microclimas urbanos y su incidencia en la intensificación de la termo higrométrica que ejercen los materiales urbanos sobre la dinámica microclimática de las urbes. En este caso puntual, dentro del Centro Histórico de Ibarra se evidencia mayor incidencia en el incremento de la temperatura en lugares con la presencia de la piedra laja, lo que constata que esta capa de rodadura es un elemento que conserva, retiene y emana más calor a comparación de otros materiales como el adoquín convencional.

Otra de las variables que incide en el aumento de temperatura es la orientación de los ejes de vía, puesto que, se constata una diferencia significativa de 1.5°C de la orientación norte – sur (NS) sobre la este – oeste (EO), esto, según

Mercado Maldonado & Marincic Lovriha (2017), está relacionado directamente con el número de horas de exposición directa al sol y los niveles de absorción de calor de los materiales de aceras y calzadas. Sin embargo, en esta investigación, se determina que, otro factor adicional, es la posición geográfica de la ciudad y la rotación del sol sobre la línea ecuatorial, lo que provoca que diariamente el eje TPG, que se encuentre más horas del día expuesto al sol con respecto al eje TB, mismo que se encuentra hasta 4 horas expuesto directamente al sol particularmente al medio día.

Lo mismo sucede con el porcentaje de vegetación, que, de acuerdo a la investigación realizada por Vargas & Molina (2014), mencionan que es una variable determinante y directamente relacionada con el estrés térmico y la presencia de la ICU, es decir, que, a mayor porcentaje de arborización, mayores serán los espacios cubiertos por sombra y, por ende, espacios con temperatura moderada para la circulación peatonal, situación similar al eje TPG donde existe un significativo porcentaje de arborización frente a una inexistente en el eje TB.

Por otro lado, la variable de cañón urbano, a diferencia de las demás variables morfológicas, está estrechamente relacionada con la velocidad de viento, puesto que esta configuración urbana en su conjunto ayuda a comprender la concentración de calor sobre los ejes viales, tal y como Cordero Ordóñez (2014) aplica en su investigación, puesto que la autora enfatiza como la orientación de la trama, ancho y altura de vía del cañón urbano alteran la circulación y velocidad del viento y por ende en la incidencia de la radiación solar y temperatura in situ.

Frente a lo presentado anteriormente, se consolida la presencia e incidencia de las Islas de Calor Urbano en las urbes sin importancia del tamaño y la posición geográfica, puesto que, dentro de estos núcleos urbanos, se registran temperaturas más altas en comparación con las zonas periurbanas y rurales que los rodean, que, de acuerdo a lo expuesto por Magro et al. (2018), este fenómeno es retroalimentado por el cambio climático, aun cuando afirman que

no es la principal causante, puesto que, la ICU está directamente relacionada con las actividades antrópicas aumentando la temperatura 8°C en verano, lo cual deteriora la calidad de vida de la población que habita y reside en estas urbes.

Para combatir este fenómeno, a priori, se deben buscar soluciones integrales entre los diferentes niveles de gobierno implementando políticas públicas con un enfoque ecológico, de movilidad y urbanismo sostenible, abriendo el abanico de futuras investigaciones e intervenciones público-privadas, tomando como punto de partida la escala barrial para transformar el entorno urbano involucrando a la sociedad con ella. Cabe recalcar que no se trata de contar solo con voluntad política para impulsar estos cambios, sino también es necesario utilizar metodologías y herramientas adecuadas para llevarlas a cabo, de lo contrario se pueden convertir en proyectos con efectos contraproducentes.

Finalmente, partiendo de esta escala barrial se buscaría implementar esta triple visión con el objetivo de reducir la temperatura mediante la renaturalización del espacio público mediante redes de corredores ecológicos partiendo desde las zonas más conflictivas, es decir, desde los centros urbanos hacia las periferias. A su vez, implementar estas políticas públicas que regulen paulatinamente la expansión urbana, los sistemas constructivos, la movilidad, etc. mediante una planificación urbana sostenible y así contrarrestar los espacios grises existentes en las ciudades, involucrando a la ciudadana mediante una visión estratégica con acciones a corto, mediano y largo plazo para afrontar desafíos a futuro y garantizar la calidad de vida de futuras generaciones de las ciudades.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES

Con respecto al objetivo de investigación que buscaba identificar las áreas que pueden sufrir efecto de isla de calor urbana dentro del centro histórico de Ibarra y su área de influencia, se concluye que la metodología implementada fue útil para evaluar la incidencia de las ICU mediante la recolección de datos microclimáticos utilizando herramientas de campo (estaciones móviles), aportando con nociones claras que evidencian indicios de la presencia de islas de calor urbano dentro de los ejes de estudio, con varianzas significativas que dependen del contexto y horario.

Así mismo, respecto al objetivo de determinar los elementos morfológicos urbanos que inciden en el comportamiento térmico, se evidenció mediante el uso de herramientas estadísticas con métodos lineales, que las variables que inciden en la variación de la temperatura de los ejes de estudio están directamente relacionadas con variables morfológicas que funcionan de acuerdo a las cualidades y características propias de cada eje de estudio, sin embargo, existen limitaciones debido a la carencia de datos para el análisis de correlación.

Dentro del proceso de investigación se reconoce diferentes limitaciones y dificultad al momento de revisar y recolectar data significativa para evaluar la incidencia de isla de calor urbano. Por un lado, la carencia de estaciones meteorológicas del INAMHI dentro de la zona urbana de Ibarra para ampliar la confianza de la información al momento de procesar los datos. A esto se suma las dificultades administrativas para obtener la data existente. Por último, la necesidad de contar con el apoyo logístico y procesamiento de datos por parte de un ingeniero estadista, el cual cuenta con los conocimientos necesarios para evaluar los procesos necesarios para la correlación de las variables obtenidas.

En cuanto a los hallazgos específicos de esta investigación, los dos ejes de estudio presentaron resultados estadísticamente significativos para determinar

la incidencia y presencia de islas de calor urbano, donde fue posible observar la correlación de la temperatura con variables morfológicas como la arborización, orientación de vías, material de calzada y vientos, para este último hay que considerar variables específicas como el cañón urbano y el ancho de vía, sin embargo, se reconoce la necesidad de contar herramientas específicas para monitorear otras variables morfológicas que enriquezcan y complementen estos primeros indicios de ICU en el centro histórico de Ibarra.

En ese sentido, se determina la presencia del fenómeno ICU dentro del núcleo urbano de la ciudad de Ibarra puesto que los resultados obtenidos denotan una temperatura máxima de 29°C frente a la temperatura máxima media de 26°C de la ciudad. Por ello, se afirma la necesidad de plantearse diversos objetivos a nivel de ciudad, así como la implementación de diversas metodologías, instrumentos, dimensiones y variables, puesto que, esto ayuda a entender eficazmente la realidad del entorno urbano. A priori, en este trabajo de investigación, se determina la necesidad de contar con un mayor número de observaciones y recolección de datos in situ, en fechas que cumplan con las condiciones climáticas ideales para obtener resultados precisos con herramientas de mayor sensibilidad para cada variable, mismas que deben ser planificadas con antelación para su puesta en acción.

En definitiva, se reconoce que este es un trabajo de investigación inicial donde se denota la necesidad de ampliar, a nivel metodológico, futuras investigaciones que sirvan para una mayor explicación de resultados, puesto que, ayudaría a tener un muestreo exhaustivo con datos de diferentes puntos del área urbana de la ciudad y comprender de mejor manera la incidencia del fenómeno de isla de calor urbano. Además, sería de gran utilidad usar estas futuras investigaciones para corroborar la necesidad de monitorear continuamente las variables microclimáticas para obtener datos más precisos y buscar alternativas para controlar y mitigar exhaustivamente el fenómeno de isla de calor urbano en la ciudad de Ibarra.

Para finalizar, la ampliación del universo de estas variables y resultados, ayudarían a justificar la necesidad de implementar políticas públicas enfocadas a contrarrestar el cambio climático representado, en este caso, con el fenómeno de isla de calor urbano, abordando tópicos como la importancia del arboleado urbano, estudio del comportamiento térmico de materiales de calzada y aceras dentro de los ejes viales de la urbe o el monitoreo constante de la temperatura y radiación en puntos estratégicos de la ciudad con la finalidad de afrontar desafíos a futuro para garantizar la calidad de vida de las futuras generaciones de la ciudad de Ibarra.

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de datos

Datos (primera parte)

Tramo	Cuadra	Hora	CODIGO	FVC	TEMP	ESTERM	ESTERMSOM
TPG	01	AM	TPG1AM	0.7582	23.17	24.44	21.11
TPG	01	MD	TPG1MD	0.7582	28.72	27.56	25.67
TPG	01	PM	TPG1PM	0.7582	22.5	23.89	21.33
TPG	01	AM	TPG1AM	0.7582	23.44	24.83	19
TPG	01	MD	TPG1MD	0.7582	29.89	27.83	25
TPG	01	PM	TPG1PM	0.7582	22.72	24.33	22.17
TPG	01	AM	TPG1AM	0.7582	22.11	22.56	21.61
TPG	01	MD	TPG1MD	0.7582	28.72	27.22	24.22
TPG	01	PM	TPG1PM	0.7582	21.11	21.61	21.06
TPG	01	AM	TPG1AM	0.7582	21.89	22.22	21
TPG	01	MD	TPG1MD	0.7582	28.39	26.11	23.39
TPG	01	PM	TPG1PM	0.7582	20.89	21.11	20.56
TPG	02	AM	TPG2AM	0.7433	22.94	24.22	21.11
TPG	02	MD	TPG2MD	0.7433	28.56	27.33	25.56
TPG	02	PM	TPG2PM	0.7433	22.5	23.78	21.11
TPG	02	AM	TPG2AM	0.7433	23.22	24.5	18.78
TPG	02	MD	TPG2MD	0.7433	29.67	27.61	24.78
TPG	02	PM	TPG2PM	0.7433	22.94	24.11	21.83
TPG	02	AM	TPG2AM	0.7433	22	22.44	21.17
TPG	02	MD	TPG2MD	0.7433	29.06	27	23.89
TPG	02	PM	TPG2PM	0.7433	21	21.39	20.83
TPG	02	AM	TPG2AM	0.7433	21.39	21.83	21.11
TPG	02	MD	TPG2MD	0.7433	27.22	26.67	23.56
TPG	02	PM	TPG2PM	0.7433	21.11	21.22	20.67
TPG	03	AM	TPG3AM	0.8115	22.78	21.11	24.22
TPG	03	MD	TPG3MD	0.8115	28.39	25.56	27.33
TPG	03	PM	TPG3PM	0.8115	22.56	21.11	23.78
TPG	03	AM	TPG3AM	0.8115	22.72	18.78	24.5
TPG	03	MD	TPG3MD	0.8115	29.78	24.78	27.61
TPG	03	PM	TPG3PM	0.8115	22.83	21.83	24.11
TPG	03	AM	TPG3AM	0.8115	22.28	21.17	22.44
TPG	03	MD	TPG3MD	0.8115	29.22	23.89	27
TPG	03	PM	TPG3PM	0.8115	21.11	20.83	21.39
TPG	03	AM	TPG3AM	0.8115	21.44	21.11	21.94
TPG	03	MD	TPG3MD	0.8115	27.11	23.67	26.78
TPG	03	PM	TPG3PM	0.8115	21.28	20.94	21.11

TB	01	AM	TB1AM	0.627	24.72	23.72	21.67
TB	01	MD	TB1MD	0.627	29.78	28.33	25.72
TB	01	PM	TB1PM	0.627	23.78	21.22	21.11
TB	01	AM	TB1AM	0.627	25.44	24.44	22.28
TB	01	MD	TB1MD	0.627	32.83	29.44	27.33
TB	01	PM	TB1PM	0.627	24.44	22.78	21.89
TB	01	AM	TB1AM	0.627	23.33	24.28	22.78
TB	01	MD	TB1MD	0.627	26.67	27.22	26.39
TB	01	PM	TB1PM	0.627	22.11	23.44	21.94
TB	01	AM	TB1AM	0.627	24.6	23	21.67
TB	01	MD	TB1MD	0.627	29.43	27.72	25.44
TB	01	PM	TB1PM	0.627	22.8	22.21	21.11
TB	02	AM	TB2AM	0.5864	24.44	23.78	21.67
TB	02	MD	TB2MD	0.5864	29.89	28.39	25.67
TB	02	PM	TB2PM	0.5864	23.83	21.33	21.11
TB	02	AM	TB2AM	0.5864	25.5	24.5	22.11
TB	02	MD	TB2MD	0.5864	32.67	29.61	27.22
TB	02	PM	TB2PM	0.5864	24.56	22.89	21.67
TB	02	AM	TB2AM	0.5864	23.39	24.39	22.5
TB	02	MD	TB2MD	0.5864	26.56	27.39	26.17
TB	02	PM	TB2PM	0.5864	22.22	23.61	22.11
TB	02	AM	TB2AM	0.5864	24.3	23.21	21.5
TB	02	MD	TB2MD	0.5864	28.9	28.11	25.11
TB	02	PM	TB2PM	0.5864	21.6	21.71	20.71
TB	03	AM	TB3AM	0.6321	24.44	23.89	21.67
TB	03	MD	TB3MD	0.6321	29.94	28.44	25.72
TB	03	PM	TB3PM	0.6321	23.72	21.61	20.94
TB	03	AM	TB3AM	0.6321	25.61	24.39	21.94
TB	03	MD	TB3MD	0.6321	32.67	29.44	21.11
TB	03	PM	TB3PM	0.6321	24.56	22.89	21.67
TB	03	AM	TB3AM	0.6321	23.39	24.44	22.56
TB	03	MD	TB3MD	0.6321	26.56	27.22	26
TB	03	PM	TB3PM	0.6321	22.22	23.83	22.11
TB	03	AM	TB3AM	0.6321	24.6	23	21.67
TB	03	MD	TB3MD	0.6321	29.43	27.72	25.44
TB	03	PM	TB3PM	0.6321	22.8	22.21	21.11
TB	04	AM	TB4AM	0.5964	24.89	23.83	21.72
TB	04	MD	TB4MD	0.5964	29.89	28.39	25.83
TB	04	PM	TB4PM	0.5964	23.78	21.39	21.06
TB	04	AM	TB4AM	0.5964	25.61	24.5	22.22
TB	04	MD	TB4MD	0.5964	32.83	29.61	26.76
TB	04	PM	TB4PM	0.5964	24.56	22.89	21.72

TB	04	AM	TB4AM	0.5964	23.44	24.39	22.61
TB	04	MD	TB4MD	0.5964	26.67	27.39	26.11
TB	04	PM	TB4PM	0.5964	22.22	23.61	22.22
TB	04	AM	TB4AM	0.5964	24.11	23.11	21.71
TB	04	MD	TB4MD	0.5964	29.43	28.9	25.71
TB	04	PM	TB4PM	0.5964	21.9	23.11	20.92
TB	05	AM	TB5AM	0.4997	24.67	23.89	21.89
TB	05	MD	TB5MD	0.4997	29.94	28.44	26
TB	05	PM	TB5PM	0.4997	23.78	21.61	21.22
TB	05	AM	TB5AM	0.4997	25.56	24.39	22.33
TB	05	MD	TB5MD	0.4997	32.89	29.44	26.83
TB	05	PM	TB5PM	0.4997	24.56	22.89	21.83
TB	05	AM	TB5AM	0.4997	23.44	24.44	22.78
TB	05	MD	TB5MD	0.4997	26.67	27.22	26.22
TB	05	PM	TB5PM	0.4997	22.44	23.83	22.17
TB	05	AM	TB5AM	0.4997	24.6	23.41	21.71
TB	05	MD	TB5MD	0.4997	29.43	29.11	25.44
TB	05	PM	TB5PM	0.4997	22.8	22.71	21.11
TB	06	AM	TB6AM	0.5722	24.83	23.83	21.94
TB	06	MD	TB6MD	0.5722	29.94	28.39	26.06
TB	06	PM	TB6PM	0.5722	23.83	21.39	21.39
TB	06	AM	TB6AM	0.5722	25.56	24.5	22.11
TB	06	MD	TB6MD	0.5722	32.89	29.61	26.67
TB	06	PM	TB6PM	0.5722	24.67	22.89	21.67
TB	06	AM	TB6AM	0.5722	23.56	24.39	22.78
TB	06	MD	TB6MD	0.5722	26.78	27.39	26.39
TB	06	PM	TB6PM	0.5722	22.44	23.61	22.17
TB	06	AM	TB6AM	0.5722	24.4	22.91	21.47
TB	06	MD	TB6MD	0.5722	29.11	27.71	25.11
TB	06	PM	TB6PM	0.5722	22.71	21.71	20.97
TB	07	AM	TB7AM	0.6298	24.83	23.83	21.83
TB	07	MD	TB7MD	0.6298	29.94	28.33	26.11
TB	07	PM	TB7PM	0.6298	23.83	21.56	21.39
TB	07	AM	TB7AM	0.6298	25.56	24.5	22.39
TB	07	MD	TB7MD	0.6298	32.89	29.44	26.78
TB	07	PM	TB7PM	0.6298	24.67	22.78	21.83
TB	07	AM	TB7AM	0.6298	23.56	24.33	22.78
TB	07	MD	TB7MD	0.6298	26.78	27.22	26.28
TB	07	PM	TB7PM	0.6298	22.44	23.5	22.5
TB	07	AM	TB7AM	0.6298	24.5	23	21.67
TB	07	MD	TB7MD	0.6298	29.38	27.91	25.71
TB	07	PM	TB7PM	0.6298	22.8	22.21	21.11

TB	08	AM	TB8AM	0.7024	24.89	23.61	21.72
TB	08	MD	TB8MD	0.7024	29.89	28.44	25.83
TB	08	PM	TB8PM	0.7024	23.83	21.44	21.11
TB	08	AM	TB8AM	0.7024	25.44	24.44	22.22
TB	08	MD	TB8MD	0.7024	32.89	29.67	26.78
TB	08	PM	TB8PM	0.7024	24.56	22.78	21.72
TB	08	AM	TB8AM	0.7024	23.56	24.33	22.61
TB	08	MD	TB8MD	0.7024	26.78	27.33	25.83
TB	08	PM	TB8PM	0.7024	22.33	23.5	21.67
TB	08	AM	TB8AM	0.7024	24.71	23.1	21.11
TB	08	MD	TB8MD	0.7024	29.95	27.41	25.44
TB	08	PM	TB8PM	0.7024	22.71	21.11	20.91
TB	09	AM	TB9AM	0.7378	24.83	23.67	21.72
TB	09	MD	TB9MD	0.7378	29.83	28.44	25.72
TB	09	PM	TB9PM	0.7378	23.72	21.44	21.17
TB	09	AM	TB9AM	0.7378	25.67	24.44	21.94
TB	09	MD	TB9MD	0.7378	32.67	29.44	26.67
TB	09	PM	TB9PM	0.7378	24.56	22.78	21.83
TB	09	AM	TB9AM	0.7378	23.44	24.28	22.5
TB	09	MD	TB9MD	0.7378	26.67	27.33	26.67
TB	09	PM	TB9PM	0.7378	22.28	23.5	22.11
TB	09	AM	TB9AM	0.7378	24.71	22.91	21.72
TB	09	MD	TB9MD	0.7378	29.71	27.72	25.72
TB	09	PM	TB9PM	0.7378	22.91	22.21	21.17
TB	10	AM	TB10AM	0.719	24.78	23.83	21.72
TB	10	MD	TB10MD	0.719	29.89	28.44	25.83
TB	10	PM	TB10PM	0.719	23.72	21.44	21.06
TB	10	AM	TB10AM	0.719	25.61	24.56	22.22
TB	10	MD	TB10MD	0.719	32.67	29.61	26.76
TB	10	PM	TB10PM	0.719	24.56	22.94	21.72
TB	10	AM	TB10AM	0.719	23.44	24.39	22.61
TB	10	MD	TB10MD	0.719	26.67	27.33	26.11
TB	10	PM	TB10PM	0.719	22.22	23.56	22.22
TB	10	AM	TB10AM	0.719	24.6	23.1	21.67
TB	10	MD	TB10MD	0.719	29.43	27.69	25.44
TB	10	PM	TB10PM	0.719	22.71	22.21	21.11

Datos (segunda parte)

TEMVIEN	VELVIEN	DIRVIEN	HUMREL	ORIENT	ALTITUD	LARGO	ANCHO
22.22	1.073	EO	34	EO	2218	87.37	20
27.33	1.296	EO	26	EO	2218	87.37	20
21.67	1.52	EO	31.5	EO	2218	87.37	20
24.22	1.162	EO	35.5	EO	2218	87.37	20
29.83	1.654	EO	25	EO	2218	87.37	20
24.28	1.967	EO	32.3	EO	2218	87.37	20
21.94	0.9388	EO	37.7	EO	2218	87.37	20
28.33	1.431	EO	26.8	EO	2218	87.37	20
21	0.9835	EO	35.3	EO	2218	87.37	20
21.83	0.8941	EO	34	EO	2218	87.37	20
27.94	1.475	EO	26.4	EO	2218	87.37	20
21.11	0.9388	EO	32.5	EO	2218	87.37	20
22.22	1.162	EO	34	EO	2217	93.11	20
27.11	1.386	EO	26	EO	2217	93.11	20
21.78	1.609	EO	31.5	EO	2217	93.11	20
24	1.162	EO	35.5	EO	2217	93.11	20
29.61	1.743	EO	25	EO	2217	93.11	20
24.17	1.878	EO	32.3	EO	2217	93.11	20
21.89	0.9388	EO	37.7	EO	2217	93.11	20
28.22	1.52	EO	26.8	EO	2217	93.11	20
20.78	0.8941	EO	35.3	EO	2217	93.11	20
21.11	0.8941	EO	34.6	EO	2217	93.11	20
27.78	1.341	EO	26	EO	2217	93.11	20
20.56	0.8941	EO	32.4	EO	2217	93.11	20
22.33	1.162	EO	34	EO	2217	86.72	20
27.22	1.386	EO	26	EO	2217	86.72	20
22.39	1.609	EO	31.5	EO	2217	86.72	20
23.94	1.162	EO	35.5	EO	2217	86.72	20
29.72	1.743	EO	25	EO	2217	86.72	20
24	1.878	EO	32.3	EO	2217	86.72	20
21.67	0.9388	EO	37.7	EO	2217	86.72	20
28.06	1.52	EO	26.7	EO	2217	86.72	20
21.11	0.8941	EO	35.1	EO	2217	86.72	20
21.33	0.8941	EO	34.5	EO	2217	86.72	20
27.56	1.341	EO	26.2	EO	2217	86.72	20
21	0.8941	EO	32.1	EO	2217	86.72	20
23.5	1.118	NS	33.1	NS	2218	107.6	12
28.61	2.235	NS	20.5	NS	2218	107.6	12
27.83	1.699	NS	26.9	NS	2218	107.6	12
24.39	1.341	NS	35.6	NS	2218	107.6	12

32.5	2.414	NS	21.5	NS	2218	107.6	12
24.11	2.056	NS	29.9	NS	2218	107.6	12
23.61	1.162	NS	37.2	NS	2218	107.6	12
24	1.788	NS	22	NS	2218	107.6	12
22.22	1.431	NS	29.9	NS	2218	107.6	12
23.5	1.16	NS	34.2	NS	2218	107.6	12
29.31	2.21	NS	23.4	NS	2218	107.6	12
27.62	1.76	NS	30.2	NS	2218	107.6	12
23.5	1.028	NS	33.1	NS	2217	95.56	12
28.61	2.146	NS	20.5	NS	2217	95.56	12
27.83	1.788	NS	26.9	NS	2217	95.56	12
24.39	1.431	NS	35.6	NS	2217	95.56	12
32.5	2.593	NS	21.5	NS	2217	95.56	12
24.11	2.056	NS	29.9	NS	2217	95.56	12
23.61	1.207	NS	37.2	NS	2217	95.56	12
24	1.833	NS	22	NS	2217	95.56	12
22.22	1.431	NS	29.9	NS	2217	95.56	12
23.5	1.16	NS	34.2	NS	2217	95.56	12
29.31	2.21	NS	23.4	NS	2217	95.56	12
27.62	1.76	NS	30.2	NS	2217	95.56	12
23.5	1.073	NS	33.1	NS	2216	95.46	12
28.61	2.056	NS	20.5	NS	2216	95.46	12
27.83	1.699	NS	26.9	NS	2216	95.46	12
24.39	1.565	NS	35.6	NS	2216	95.46	12
32.5	2.503	NS	21.5	NS	2216	95.46	12
24.11	2.012	NS	29.9	NS	2216	95.46	12
23.61	1.118	NS	37.2	NS	2216	95.46	12
24	1.833	NS	22	NS	2216	95.46	12
22.22	1.431	NS	29.9	NS	2216	95.46	12
23.5	1.16	NS	34.2	NS	2216	95.46	12
29.31	2.21	NS	23.4	NS	2216	95.46	12
27.62	1.76	NS	30.2	NS	2216	95.46	12
23.5	0.9835	NS	33.1	NS	2216	91.67	12
28.61	2.146	NS	20.5	NS	2216	91.67	12
27.83	1.878	NS	26.9	NS	2216	91.67	12
24.39	1.431	NS	35.6	NS	2216	91.67	12
32.5	2.414	NS	21.5	NS	2216	91.67	12
24.11	1.967	NS	29.9	NS	2216	91.67	12
23.61	1.073	NS	37.2	NS	2216	91.67	12
24	1.878	NS	22	NS	2216	91.67	12
22.22	1.386	NS	29.9	NS	2216	91.67	12
23.5	1.16	NS	34.2	NS	2216	91.67	12

29.31	2.21	NS	23.4	NS	2216	91.67	12
27.62	1.76	NS	30.2	NS	2216	91.67	12
23.5	1.162	NS	33.1	NS	2215	91.76	12
28.61	2.28	NS	20.5	NS	2215	91.76	12
27.83	1.922	NS	26.9	NS	2215	91.76	12
24.39	1.565	NS	35.6	NS	2215	91.76	12
32.5	2.414	NS	21.5	NS	2215	91.76	12
24.11	2.012	NS	29.9	NS	2215	91.76	12
23.61	1.118	NS	37.2	NS	2215	91.76	12
24	1.922	NS	22	NS	2215	91.76	12
22.22	1.475	NS	29.9	NS	2215	91.76	12
23.5	1.16	NS	34.2	NS	2215	91.76	12
29.31	2.21	NS	23.4	NS	2215	91.76	12
27.62	1.76	NS	30.2	NS	2215	91.76	12
23.5	1.252	NS	33.1	NS	2214	92.68	12
28.61	2.325	NS	20.5	NS	2214	92.68	12
27.83	1.878	NS	26.9	NS	2214	92.68	12
24.39	1.565	NS	35.6	NS	2214	92.68	12
32.5	2.593	NS	21.5	NS	2214	92.68	12
24.11	2.056	NS	29.9	NS	2214	92.68	12
23.61	1.296	NS	37.2	NS	2214	92.68	12
24	1.967	NS	22	NS	2214	92.68	12
22.22	1.431	NS	29.9	NS	2214	92.68	12
23.5	1.16	NS	34.2	NS	2214	92.68	12
29.31	2.21	NS	23.4	NS	2214	92.68	12
27.62	1.76	NS	30.2	NS	2214	92.68	12
23.5	1.207	NS	33.1	NS	2213	90.18	12
28.61	2.325	NS	20.5	NS	2213	90.18	12
27.83	1.878	NS	26.9	NS	2213	90.18	12
24.39	1.565	NS	35.6	NS	2213	90.18	12
32.5	2.593	NS	21.5	NS	2213	90.18	12
24.11	2.056	NS	29.9	NS	2213	90.18	12
23.61	1.296	NS	37.2	NS	2213	90.18	12
24	1.967	NS	22	NS	2213	90.18	12
22.22	1.431	NS	29.9	NS	2213	90.18	12
23.5	1.16	NS	34.2	NS	2213	90.18	12
29.31	2.21	NS	23.4	NS	2213	90.18	12
27.62	1.76	NS	30.2	NS	2213	90.18	12
23.5	1.118	NS	33.1	NS	2212	90.21	12
28.61	2.235	NS	20.5	NS	2212	90.21	12
27.83	1.743	NS	26.9	NS	2212	90.21	12
24.39	1.475	NS	35.6	NS	2212	90.21	12

32.5	2.593	NS	21.5	NS	2212	90.21	12
24.11	2.012	NS	29.9	NS	2212	90.21	12
23.61	1.252	NS	37.2	NS	2212	90.21	12
24	1.922	NS	22	NS	2212	90.21	12
22.22	1.431	NS	29.9	NS	2212	90.21	12
23.5	1.16	NS	34.2	NS	2212	90.21	12
29.31	2.21	NS	23.4	NS	2212	90.21	12
27.62	1.76	NS	30.2	NS	2212	90.21	12
23.5	1.162	NS	33.1	NS	2210	91.01	12
28.61	2.101	NS	20.5	NS	2210	91.01	12
27.83	1.788	NS	26.9	NS	2210	91.01	12
24.39	1.475	NS	35.6	NS	2210	91.01	12
32.5	2.503	NS	21.5	NS	2210	91.01	12
24.11	2.012	NS	29.9	NS	2210	91.01	12
23.61	1.118	NS	37.2	NS	2210	91.01	12
24	1.878	NS	22	NS	2210	91.01	12
22.22	1.431	NS	29.9	NS	2210	91.01	12
23.5	1.16	NS	34.2	NS	2210	91.01	12
29.31	2.21	NS	23.4	NS	2210	91.01	12
27.62	1.76	NS	30.2	NS	2210	91.01	12
23.5	1.073	NS	33.1	NS	2208	71.2	12
28.61	2.19	NS	20.5	NS	2208	71.2	12
27.83	1.699	NS	26.9	NS	2208	71.2	12
24.39	1.431	NS	35.6	NS	2208	71.2	12
32.5	2.503	NS	21.5	NS	2208	71.2	12
24.11	1.922	NS	29.9	NS	2208	71.2	12
23.61	1.118	NS	37.2	NS	2208	71.2	12
24	1.878	NS	22	NS	2208	71.2	12
22.22	1.431	NS	29.9	NS	2208	71.2	12
23.5	1.16	NS	34.2	NS	2208	71.2	12
29.31	2.21	NS	23.4	NS	2208	71.2	12
27.62	1.76	NS	30.2	NS	2208	71.2	12

Datos (tercera parte)

ALTUPROM	SUPERFICIE	CANURB	ARB	MATCAL	MATACE	NROPAR
8.6	1747	0.43	27.46	P	Q	0
8.6	1747	0.43	27.46	P	Q	0
8.6	1747	0.43	27.46	P	Q	0
8.6	1747	0.43	27.46	P	Q	0
8.6	1747	0.43	27.46	P	Q	0
8.6	1747	0.43	27.46	P	Q	0

8.6	1747	0.43	27.46	P	Q	0
8.6	1747	0.43	27.46	P	Q	0
8.6	1747	0.43	27.46	P	Q	0
8.6	1747	0.43	27.46	P	Q	0
8.6	1747	0.43	27.46	P	Q	0
8.6	1747	0.43	27.46	P	Q	0
9	1862	0.45	20.23	A	Q	0
9	1862	0.45	20.23	A	Q	0
9	1862	0.45	20.23	A	Q	0
9	1862	0.45	20.23	A	Q	0
9	1862	0.45	20.23	A	Q	0
9	1862	0.45	20.23	A	Q	0
9	1862	0.45	20.23	A	Q	0
9	1862	0.45	20.23	A	Q	0
9	1862	0.45	20.23	A	Q	0
9	1862	0.45	20.23	A	Q	0
9	1862	0.45	20.23	A	Q	0
9	1862	0.45	20.23	A	Q	0
9	1862	0.45	20.23	A	Q	0
7.2	1734	0.36	23.68	A	Q	12
7.2	1734	0.36	23.68	A	Q	12
7.2	1734	0.36	23.68	A	Q	12
7.2	1734	0.36	23.68	A	Q	12
7.2	1734	0.36	23.68	A	Q	12
7.2	1734	0.36	23.68	A	Q	12
7.2	1734	0.36	23.68	A	Q	12
7.2	1734	0.36	23.68	A	Q	12
7.2	1734	0.36	23.68	A	Q	12
7.2	1734	0.36	23.68	A	Q	12
7.2	1734	0.36	23.68	A	Q	12
7.2	1734	0.36	23.68	A	Q	12
7.2	1734	0.36	23.68	A	Q	12
7.2	1734	0.36	23.68	A	Q	12
7.455	1291	0.6212	0	P	Q	16
7.455	1291	0.6212	0	P	Q	16
7.455	1291	0.6212	0	P	Q	16
7.455	1291	0.6212	0	P	Q	16
7.455	1291	0.6212	0	P	Q	16
7.455	1291	0.6212	0	P	Q	16
7.455	1291	0.6212	0	P	Q	16
7.455	1291	0.6212	0	P	Q	16
7.455	1291	0.6212	0	P	Q	16
7.455	1291	0.6212	0	P	Q	16
7.455	1291	0.6212	0	P	Q	16
7.455	1291	0.6212	0	P	Q	16
7.455	1291	0.6212	0	P	Q	16
7.455	1291	0.6212	0	P	Q	16
7.455	1291	0.6212	0	P	Q	16

8.289	1147	0.6907	0	P	Q	16
8.289	1147	0.6907	0	P	Q	16
8.289	1147	0.6907	0	P	Q	16
8.289	1147	0.6907	0	P	Q	16
8.289	1147	0.6907	0	P	Q	16
8.289	1147	0.6907	0	P	Q	16
8.289	1147	0.6907	0	P	Q	16
8.289	1147	0.6907	0	P	Q	16
8.289	1147	0.6907	0	P	Q	16
8.289	1147	0.6907	0	P	Q	16
8.289	1147	0.6907	0	P	Q	16
8.289	1147	0.6907	0	P	Q	16
7.356	1146	0.613	0	T	C	15
7.356	1146	0.613	0	T	C	15
7.356	1146	0.613	0	T	C	15
7.356	1146	0.613	0	T	C	15
7.356	1146	0.613	0	T	C	15
7.356	1146	0.613	0	T	C	15
7.356	1146	0.613	0	T	C	15
7.356	1146	0.613	0	T	C	15
7.356	1146	0.613	0	T	C	15
7.356	1146	0.613	0	T	C	15
7.356	1146	0.613	0	T	C	15
7.356	1146	0.613	0	T	C	15
7.356	1146	0.613	0	T	C	15
7.356	1146	0.613	0	T	C	15
7.356	1146	0.613	0	T	C	15
7.356	1146	0.613	0	T	C	15
8.075	1100	0.6729	0	T	C	16
8.075	1100	0.6729	0	T	C	16
8.075	1100	0.6729	0	T	C	16
8.075	1100	0.6729	0	T	C	16
8.075	1100	0.6729	0	T	C	16
8.075	1100	0.6729	0	T	C	16
8.075	1100	0.6729	0	T	C	16
8.075	1100	0.6729	0	T	C	16
8.075	1100	0.6729	0	T	C	16
8.075	1100	0.6729	0	T	C	16
8.075	1100	0.6729	0	T	C	16
8.075	1100	0.6729	0	T	C	16
8.075	1100	0.6729	0	T	C	16
8.075	1100	0.6729	0	T	C	16
8.075	1100	0.6729	0	T	C	16
8.075	1100	0.6729	0	T	C	16
8.075	1100	0.6729	0	T	C	16
10.4	1101	0.8667	0	T	C	15
10.4	1101	0.8667	0	T	C	15
10.4	1101	0.8667	0	T	C	15
10.4	1101	0.8667	0	T	C	15
10.4	1101	0.8667	0	T	C	15
10.4	1101	0.8667	0	T	C	15

10.4	1101	0.8667	0	T	C	15
10.4	1101	0.8667	0	T	C	15
10.4	1101	0.8667	0	T	C	15
10.4	1101	0.8667	0	T	C	15
10.4	1101	0.8667	0	T	C	15
10.4	1101	0.8667	0	T	C	15
8.6	1112	0.7167	0	T	C	9
8.6	1112	0.7167	0	T	C	9
8.6	1112	0.7167	0	T	C	9
8.6	1112	0.7167	0	T	C	9
8.6	1112	0.7167	0	T	C	9
8.6	1112	0.7167	0	T	C	9
8.6	1112	0.7167	0	T	C	9
8.6	1112	0.7167	0	T	C	9
8.6	1112	0.7167	0	T	C	9
8.6	1112	0.7167	0	T	C	9
8.6	1112	0.7167	0	T	C	9
8.6	1112	0.7167	0	T	C	9
8.6	1112	0.7167	0	T	C	9
7.4	1082	0.6167	0	T	C	15
7.4	1082	0.6167	0	T	C	15
7.4	1082	0.6167	0	T	C	15
7.4	1082	0.6167	0	T	C	15
7.4	1082	0.6167	0	T	C	15
7.4	1082	0.6167	0	T	C	15
7.4	1082	0.6167	0	T	C	15
7.4	1082	0.6167	0	T	C	15
7.4	1082	0.6167	0	T	C	15
7.4	1082	0.6167	0	T	C	15
7.4	1082	0.6167	0	T	C	15
7.4	1082	0.6167	0	T	C	15
7.4	1082	0.6167	0	T	C	15
7.4	1082	0.6167	0	T	C	15
7.4	1082	0.6167	0	T	C	15
7.4	1082	0.6167	0	T	C	15
6.08	1083	0.5067	0	P	H	13
6.08	1083	0.5067	0	P	H	13
6.08	1083	0.5067	0	P	H	13
6.08	1083	0.5067	0	P	H	13
6.08	1083	0.5067	0	P	H	13
6.08	1083	0.5067	0	P	H	13
6.08	1083	0.5067	0	P	H	13
6.08	1083	0.5067	0	P	H	13
6.08	1083	0.5067	0	P	H	13
6.08	1083	0.5067	0	P	H	13
6.08	1083	0.5067	0	P	H	13
6.08	1083	0.5067	0	P	H	13
6.08	1083	0.5067	0	P	H	13
6.08	1083	0.5067	0	P	H	13
6.08	1083	0.5067	0	P	H	13
6.08	1083	0.5067	0	P	H	13

5.489	1092	0.4574	0	P	H	12
5.489	1092	0.4574	0	P	H	12
5.489	1092	0.4574	0	P	H	12
5.489	1092	0.4574	0	P	H	12
5.489	1092	0.4574	0	P	H	12
5.489	1092	0.4574	0	P	H	12
5.489	1092	0.4574	0	P	H	12
5.489	1092	0.4574	0	P	H	12
5.489	1092	0.4574	0	P	H	12
5.489	1092	0.4574	0	P	H	12
5.489	1092	0.4574	0	P	H	12
5.8	854.4	0.4833	0	P	H	7
5.8	854.4	0.4833	0	P	H	7
5.8	854.4	0.4833	0	P	H	7
5.8	854.4	0.4833	0	P	H	7
5.8	854.4	0.4833	0	P	H	7
5.8	854.4	0.4833	0	P	H	7
5.8	854.4	0.4833	0	P	H	7
5.8	854.4	0.4833	0	P	H	7
5.8	854.4	0.4833	0	P	H	7
5.8	854.4	0.4833	0	P	H	7
5.8	854.4	0.4833	0	P	H	7
5.8	854.4	0.4833	0	P	H	7
5.8	854.4	0.4833	0	P	H	7

Anexo 2 Matriz de variables

Nombre	Tipo	Concepto
CODIGO	character	TPG: tramo sobre la Av. Pérez Guerrero. TB: tramo sobre la calle Bolívar. #: Cuadra. AM: mañana, MD: medio día. PM: tarde
FVC	numeric	Factor de visión de cielo
TEMP	numeric	Temperatura ambiente (C)
ESTERM	numeric	Índice por estrés térmico (C)
ESTERMSOM	numeric	Índice por estrés térmico bajo sombra (C)
TEMVIEN	numeric	Temperatura del Viento (C)
VELVIEN	numeric	Velocidad del Viento (m/s)
DIRVIEN	character	Dirección del Viento (NS, EO)
HUMREL	numeric	Humedad relativa (%)
ORIENT	character	Orientación de los tramos de estudio (NS, EO)
ALTITUD	numeric	Altitud (msnm)
LARGO	numeric	Largo de la calle (m)
ANCHO	numeric	Ancho de la vía (m)
ALTUPROM	numeric	Altura promedio de las edificaciones en el tramo de estudio (m)
SUPERFICIE	numeric	Largo x Ancho de la vía (m ²)
CANURB	numeric	(Altura promedio / ancho de la vía) Cañón urbano. Relación del ancho de la vía con la altura promedio de las edificaciones
ARB	numeric	Porcentaje de arbolado en la vía
MATCAL	character	Material de calzada
MATACE	character	Material de acera
NROPAR	numeric	Número de parqueaderos por cada cuadra

Anexo 3 Tablas de frecuencias por tramos

Tramo Av. Pérez Guerrero (TPG)

Tabla de frecuencias de FVC

FVC	fs	fr	fsa	fra
[0.743,0.777)	24	0.667	24	0.667
[0.777,0.812]	12	0.333	36	1.000

Tabla de frecuencias de TEMP

TEMP	fs	fr	fsa	fra
[20.9,23.1)	21	0.5833	21	0.583
[23.1,25.4)	3	0.0833	24	0.667
[25.4,27.6)	2	0.0556	26	0.722
[27.6,29.9]	10	0.2778	36	1.000

Tabla de frecuencias de ESTERM

ESTERM	fs	fr	fsa	fra
[18.8,20.3)	1	0.0278	1	0.0278
[20.3,21.8)	10	0.2778	11	0.3056
[21.8,23.3)	5	0.1389	16	0.4445
[23.3,24.8)	10	0.2778	26	0.7222
[24.8,26.3)	3	0.0833	29	0.8056
[26.3,27.8]	7	0.1944	36	1.0000

Tabla de frecuencias de ESTERMSOM

ESTERMSOM	fs	fr	fsa	fra
[18.8,20.2)	2	0.0556	2	0.0556
[20.2,21.7)	14	0.3889	16	0.4445
[21.7,23.2)	4	0.1111	20	0.5556
[23.2,24.7)	8	0.2222	28	0.7778
[24.7,26.1)	4	0.1111	32	0.8889
[26.1,27.6]	4	0.1111	36	1.0000

Tabla de frecuencias de TEMVIEN

TEMVIEN	fs	fr	fsa	fra
[20.5,22.4)	18	0.5000	18	0.500
[22.4,24.3)	5	0.1389	23	0.639
[24.3,26.1)	1	0.0278	24	0.667
[26.1,28)	6	0.1667	30	0.833
[28,29.8]	6	0.1667	36	1.000

Tabla de frecuencias de VELVIEN

VELVIEN	fs	fr	fsa	fra
[0.893,1.07)	13	0.3611	13	0.361
[1.07,1.25)	5	0.1389	18	0.500
[1.25,1.43)	5	0.1389	23	0.639
[1.43,1.61)	5	0.1389	28	0.778
[1.61,1.79)	5	0.1389	33	0.917
[1.79,1.97]	3	0.0833	36	1.000

Tabla de frecuencias de DIRVIEN

DIRVIEN	fs	fr	fsa	fra
EO	36	1	36	1

Tabla de frecuencias de HUMREL

HUMREL	fs	fr	fsa	fra
[25,29.2)	12	0.333	12	0.333
[29.2,33.5)	9	0.250	21	0.583
[33.5,37.7]	15	0.417	36	1.000

Tabla de frecuencias de ORIENT

ORIENT	fs	fr	fsa	fra
EO	36	1	36	1

Tabla de frecuencias de ALTITUD

ALTITUD	fs	fr	fsa	fra
[2217,2217.5)	24	0.667	24	0.667
[2217.5,2218]	12	0.333	36	1.000

Tabla de frecuencias de LARGO

LARGO	fs	fr	fsa	fra
[86.7,89.9)	24	0.667	24	0.667
[89.9,93.1]	12	0.333	36	1.000

Tabla de frecuencias de ANCHO

ANCHO	fs	fr	fsa	fra
[19.98,20)	0	0	0	0
[20,20.02]	36	1	36	1

Tabla de frecuencias de ALTUPROM

ALTUPROM	fs	fr	fsa	fra
[7.2,8.1)	12	0.333	12	0.333
[8.1,9]	24	0.667	36	1.000

Tabla de frecuencias de SUPERFICIE

SUPERFICIE	fs	fr	fsa	fra
[1.73e+03,1.8e+03)	24	0.667	24	0.667
[1.8e+03,1.86e+03]	12	0.333	36	1.000

Tabla de frecuencias de CANURB

CANURB	fs	fr	fsa	fra
[0.36,0.405)	12	0.333	12	0.333
[0.405,0.45]	24	0.667	36	1.000

Tabla de frecuencias de ARB

ARB	fs	fr	fsa	fra
[20.2,22.6)	12	0.333	12	0.333
[22.6,25.1)	12	0.333	24	0.667
[25.1,27.5]	12	0.333	36	1.000

Tabla de frecuencias de MATCAL

MATCAL	fs	fr	fsa	fra
A	24	0.667	24	0.667
P	12	0.333	36	1.000

Tabla de frecuencias de MATACE

MATACE	fs	fr	fsa	fra
Q	36	1	36	1

Tabla de frecuencias de NROPAR

NROPAR	fs	fr	fsa	fra
[-0.012,6)	24	0.667	24	0.667
[6,12]	12	0.333	36	1.000

Tramo Calle Bolívar (TB)

Tabla de frecuencias de FVC

FVC	fs	fr	fsa	fra
[0.499,0.559)	12	0.1	12	0.1
[0.559,0.619)	36	0.3	48	0.4
[0.619,0.678)	36	0.3	84	0.7
[0.678,0.738]	36	0.3	120	1.0

Tabla de frecuencias de TEMP

TEMP	fs	fr	fsa	fra
[21.6,23.2)	20	0.1667	20	0.167
[23.2,24.8)	45	0.3750	65	0.542
[24.8,26.4)	15	0.1250	80	0.667
[26.4,28.1)	10	0.0833	90	0.750
[28.1,29.7)	8	0.0667	98	0.817
[29.7,31.3)	12	0.1000	110	0.917
[31.3,32.9]	10	0.0833	120	1.000

Tabla de frecuencias de ESTERM

ESTERM	fs	fr	fsa	fra
[21.1,22.8)	23	0.19167	23	0.192
[22.8,24.5)	56	0.46667	79	0.658
[24.5,26.2)	1	0.00833	80	0.667
[26.2,28)	17	0.14167	97	0.808
[28,29.7]	23	0.19167	120	1.000

Tabla de frecuencias de ESTERMSOM

ESTERMSOM	fs	fr	fsa	fra
[20.7,22.4)	69	0.5750	69	0.575
[22.4,24)	12	0.1000	81	0.675
[24,25.7)	8	0.0667	89	0.742
[25.7,27.3]	31	0.2583	120	1.000

Tabla de frecuencias de TEMVIEN

TEMVIEN	fs	fr	fsa	fra
[22.2,24.3)	60	0.5000	60	0.500
[24.3,26.3)	10	0.0833	70	0.583
[26.3,28.4)	20	0.1667	90	0.750
[28.4,30.4)	20	0.1667	110	0.917
[30.4,32.5]	10	0.0833	120	1.000

Tabla de frecuencias de VELVIEN

VELVIEN	fs	fr	fsa	fra
[0.982,1.18)	24	0.2000	24	0.200
[1.18,1.39)	7	0.0583	31	0.258
[1.39,1.59)	19	0.1583	50	0.417
[1.59,1.79)	14	0.1167	64	0.533
[1.79,1.99)	18	0.1500	82	0.683
[1.99,2.19)	12	0.1000	94	0.783
[2.19,2.39)	16	0.1333	110	0.917
[2.39,2.59]	10	0.0833	120	1.000

Tabla de frecuencias de DIRVIEN

DIRVIEN	fs	fr	fsa	fra
NS	120	1	120	1

Tabla de frecuencias de HUMREL

HUMREL	fs	fr	fsa	fra
[20.5,22.9)	30	0.2500	30	0.250
[22.9,25.3)	10	0.0833	40	0.333
[25.3,27.7)	10	0.0833	50	0.417
[27.7,30)	20	0.1667	70	0.583
[30,32.4)	10	0.0833	80	0.667

[32.4,34.8)	20	0.1667	100	0.833
[34.8,37.2]	20	0.1667	120	1.000

Tabla de frecuencias de ORIENT

ORIENT	fs	fr	fsa	fra
NS	120	1	120	1

Tabla de frecuencias de ALTITUD

ALTITUD	fs	fr	fsa	fra
[2208,2209)	12	0.1	12	0.1
[2209,2211)	12	0.1	24	0.2
[2211,2212)	12	0.1	36	0.3
[2212,2214)	12	0.1	48	0.4
[2214,2215)	24	0.2	72	0.6
[2215,2217)	24	0.2	96	0.8
[2217,2218]	24	0.2	120	1.0

Tabla de frecuencias de LARGO

LARGO	fs	fr	fsa	fra
[71.2,83.3)	12	0.1	12	0.1
[83.3,95.4)	72	0.6	84	0.7
[95.4,108]	36	0.3	120	1.0

Tabla de frecuencias de ANCHO

ANCHO	fs	fr	fsa	fra
[11.99,12)	0	0	0	0
[12,12.01]	120	1	120	1

Tabla de frecuencias de ALTUPROM

ALTUPROM	fs	fr	fsa	fra
[5.48,6.47)	36	0.3	36	0.3
[6.47,7.45)	24	0.2	60	0.5
[7.45,8.44)	36	0.3	96	0.8
[8.44,9.42)	12	0.1	108	0.9
[9.42,10.4]	12	0.1	120	1.0

Tabla de frecuencias de SUPERFICIE

SUPERFICIE	fs	fr	fsa	fra
[854,1e+03)	12	0.1	12	0.1
[1e+03,1.15e+03)	72	0.6	84	0.7
[1.15e+03,1.29e+03]	36	0.3	120	1.0

Tabla de frecuencias de CANURB

CANURB	fs	fr	fsa	fra
[0.457,0.539)	36	0.3	36	0.3
[0.539,0.621)	24	0.2	60	0.5
[0.621,0.703)	36	0.3	96	0.8
[0.703,0.785)	12	0.1	108	0.9
[0.785,0.867]	12	0.1	120	1.0

Tabla de frecuencias de ARB

ARB	fs	fr	fsa	fra
[-0.001,0)	0	0	0	0
[0,0.001]	120	1	120	1

Tabla de frecuencias de MATCAL

MATCAL	fs	fr	fsa	fra
P	60	0.5	60	0.5
T	60	0.5	120	1.0

Tabla de frecuencias de MATACE

MATACE	fs	fr	fsa	fra
C	60	0.5	60	0.5
H	36	0.3	96	0.8
Q	24	0.2	120	1.0

Tabla de frecuencias de NROPAR

NROPAR	fs	fr	fsa	fra
[6.99,8.8)	12	0.1	12	0.1
[8.8,10.6)	12	0.1	24	0.2
[10.6,12.4)	12	0.1	36	0.3
[12.4,14.2)	12	0.1	48	0.4
[14.2,16]	72	0.6	120	1.0

Anexo 4 Script Software R

```
## ----setup, include=FALSE-----  
### Librerías  
library(tidyverse)  
library(readxl)  
library(xtable)  
library(ggplot2)  
library(ggthemes)  
library(corrplot)  
library(psych)  
library(factoextra)  
library(latex2exp)  
# For knitr  
#library(bindrcpp, quietly = T)  
library(pander)  
library(knitr)  
knitr::opts_chunk$set(echo = TRUE)  
#knitr::opts_knit$set(kable.force.latex = TRUE)  
#pander::panderOptions('table.caption.prefix', "Tabla ")  
  
options(scipen=999)  
  
source("lib_general.R")  
  
## ----datos, echo=FALSE-----  
df_datos <- read_excel("./Datos/DATOS.xlsx", sheet = "TODO")  
tipos <- sapply(df_datos, class)  
df_var <- data.frame(Nombre=colnames(df_datos), Tipo=tipos, Concepto="")  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='CODIGO'] = paste0("TPG: tramo sobre la Av. ",  
"Pérez Guerrero. TB: tramo sobre la calle Bolívar. #: Cuadra. AM: mañana, ",  
"MD: medio día. PM: tarde")  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='FVC'] = "Factor de visión de cielo"  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='TEMP'] = "Temperatura ambiente (C)"  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='ESTERM'] = "Índice por estrés térmico (C)"  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='ESTERMSOM'] = paste0("Índice por estrés ",  
"térmico bajo sombra (C)")  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='TEMVIEN'] = "Temperatura del Viento (C)"  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='VELVIEN'] = "Velocidad del Viento (m/s)"  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='DIRVIEN'] = "Dirección del Viento (NS, EO)"  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='HUMREL'] = "Humedad relativa (%)"  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='ORIENT'] = paste0("Orientación de los tramos ",  
"de estudio (NS, EO)")  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='ALTITUD'] = "Altitud (msnm)"  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='LARGO'] = "Largo de la calle (m)"  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='ANCHO'] = "Ancho de la vía (m)"  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='ALTUPROM'] = paste0("Altura promedio de las ",  
"edificaciones en el tramo de estudio (m)")  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='SUPERFICIE'] = "Largo x Ancho de la vía (m2)"  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='CANURB'] = paste0("Altura promedio / ancho ",  
"de la vía) Cañón urbano. Relación del ancho de la vía con la altura ",  
"promedio de las edificaciones")  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='ARB'] = "Porcentaje de arbolado en la vía"  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='MATCAL'] = "Material de calzada"  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='MATACE'] = "Material de acera"  
df_var$Concepto[df_var$Nombre=='NROPAR'] = paste0("Número de parqueaderos ",  
"por cada cuadra")  
  
n_obs <- nrow(df_datos)  
n_var <- ncol(df_datos)  
  
cod_ini <- vector(length = n_obs)  
cod_med <- vector(length = n_obs)  
cod_fin <- vector(length = n_obs)  
for (i in 1:n_obs) {
```

```
cod <- df_datos$CODIGO[i]
if (nchar(cod) == 6) {
  cod_ini[i] <- substr(cod, 1, 3)
  if (cod_ini[i] != "TPG") {
    cod_ini[i] <- "TB"
    cod_med[i] <- substr(cod, 3, 4)
  } else {
    cod_med[i] <- substr(cod, 4, 4)
  }
  if (nchar(cod_med[i]) == 1) {
    cod_med[i] <- paste0("0", cod_med[i])
  }
  cod_fin[i] <- substr(cod, 5, 6)
} else {
  cod_ini[i] <- substr(cod, 1, 2)
  cod_med[i] <- paste0("0", substr(cod, 3, 3))
  cod_fin[i] <- substr(cod, 4, 5)
}
}
df_datos <- cbind(Tramo=cod_ini, Cuadra=cod_med, Hora=cod_fin, df_datos)
```

```
## ----variables, echo=FALSE-----
pander(df_var, justify = c('left', 'left', 'left'), split.cell = 80,
  split.table = Inf, row.names = FALSE,
  caption = "\\label{tbvars}Variables")
```

```
## ----tabfrec3, echo=FALSE, results='asis'-----
panderOptions('knitr.auto.asis', FALSE)
panderOptions('keep.trailing.zeros', TRUE)
df_tmp <- df_datos
nombres <- colnames(df_tmp)
for (j in 5:23) {
  obj <- tab_frec(df_tmp[, j], nom=nombres[j])
  pander(obj$tab, split.cell = 80, row.names = FALSE, split.table = Inf,
    justify = c('left', 'right', 'right', 'right', 'right'),
    digits = c(0, 0, 3, 0, 3),
    caption = paste0("\\label{tbfrecAmbos", j, "}Tabla de frecuencias de ",
      nombres[j]))
}
panderOptions('keep.trailing.zeros', FALSE)
panderOptions('knitr.auto.asis', TRUE)
```

```
## ----plt3, echo=FALSE, results='asis', fig.cap=paste0("\\label{Histo", seq(1,19), ")Gráfico de barra o
histograma de ", nombres[5:23])----
df_tmp <- df_datos
nombres <- colnames(df_tmp)
for (j in 5:23) {
  obj <- tab_frec(df_tmp[, j], nom=nombres[j])
  print(obj$plt)
  cat(" \n\n")
}
}
```

```
## ----plt4, echo=FALSE, results='asis', fig.cap=paste0("\\label{box", seq(1,19), ")Gráfico de caja por
tramos de ", nombres[5:23])----
nombres <- colnames(df_datos)
for (j in 5:23) {
  if (is.numeric(df_datos[0,j])) {
    plt <- ggplot(df_datos, aes(x=Tramo, y=get(nombres[j]))) +
      geom_boxplot(color="black", fill="orange") +
      ylab(nombres[j]) +
```

```
theme_solarized(base_size = 8) +
theme(axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1)) +
scale_colour_solarized("blue")
print(plt)
cat("\n\n")
}
}

## ----tabcorr, echo=FALSE, fig.width=10, fig.height=10, fig.cap="\label{cor}Matriz de correlaciones"----
df_numericas <- subset(df_datos, select = -c(1,2,3,4,11,13,21,22))
cor_mat <- cor(df_numericas)
#cor_test_mat <- corr.test(df_numericas, ci = FALSE)$p
#corrplot(cor_mat, p.mat = cor_test_mat, insig = "p-value")
corrplot(cor_mat, method='number')

## ----pca, echo=FALSE, fig.width=10, fig.height=10-----
df_numericas <- subset(df_datos, select = -c(1,2,3,4,11,13,21,22))
pca <- prcomp(df_numericas, scale = TRUE)
res <- summary(pca)
df_res <- as.data.frame(t(res$importance))
df_res <- cbind(C=rownames(df_res), df_res)
colnames(df_res) <- c("Componente", "Desv. Est.", "Prop. Var.", "Prop. Acum.")
pander(df_res, split.cell = 80, row.names=FALSE,
  keep.trailing.zeros = TRUE, split.table = Inf,
  round = c(0, 4, 4, 4),
  justify = c('center', 'right', 'right', 'right'),
  #digits = c(0, 4, 4, 4),
  caption = paste0("\label{tbPCA}Componentes principales"))

## ----pca1, echo=FALSE, fig.width=6, fig.height=3, fig.cap="\label{fgPCA}Varianzas explicadas por
cada componente"----
fviz_screepplot(pca, addlabels = TRUE, xlab="Componentes", ncp = 15,
  ylab="% Var. explicada", ylim = c(0, 50),
  title="", barcolor="lightblue",
  barfill="orange") +
theme_solarized(base_size = 8) +
theme(axis.text.x = element_text(hjust = 1)) +
scale_colour_solarized("blue")

## ----pca2, echo=FALSE, fig.width=5, fig.height=5, fig.cap="\label{fgBiplot}Biplot de variables y
observaciones"----
fviz_pca_biplot(pca, geom.ind = "point", col.ind = "red", title="",
  axes = c(1, 2), pointsize = 1.5)

## ----anova1, echo=FALSE-----
pon_estrellas <- function(valores) {
n <- length(valores)
cad <- vector(length = n)
for (i in 1:n) {
if (valores[i] < 0.001)
cad[i] <- "*****"
else
if (valores[i] < 0.01)
cad[i] <- "****"
else
if (valores[i] < 0.05)
cad[i] <- "***"
else
if (valores[i] < 0.1)
cad[i] <- "."
else

```

```
        cad[i] <- " "
    }
    return(cad)
}

df_factores <- df_datos
df_factores$MATCAL <- as.factor(df_factores$MATCAL)
formula <- 'TEMP ~ MATCAL'
mod <- lm(formula, data = df_factores)
res <- summary(mod)
coef <- as.data.frame(res$coefficients)
coef <- cbind(coef, Sig=pon_estrellas(coef[,4]))
pander(coef, split.cell = 80, keep.trailing.zeros = TRUE,
        split.table = Inf, round = c(4, 4, 4, 4, 4, 0),
        justify = c('left', 'right', 'right', 'right', 'right', 'left'),
        caption = paste0("\label{tbANOVA1}Análisis de varianza TEMP vs. MATCAL"))

## ----reg1, echo=FALSE, fig.cap="\label{reg1}TEMP vs. MATCAL"-----
plt <- ggplot(df_factores, aes(x=MATCAL, y=TEMP)) +
  geom_point(color="lightblue") +
  stat_summary(geom = "line", fun = mean, group=1, color="red") +
  #geom_smooth(color="red", method="lm", formula = y~x) +
  theme_solarized(base_size = 8) +
  theme(axis.text.x = element_text(hjust = 1)) +
  scale_colour_solarized("blue")
plt

## ----anova2, echo=FALSE-----

df_factores <- df_datos
df_factores$MATACE <- as.factor(df_factores$MATACE)
formula <- 'TEMP ~ MATACE'
mod <- lm(formula, data = df_factores)
res <- summary(mod)
coef <- as.data.frame(res$coefficients)
coef <- cbind(coef, Sig=pon_estrellas(coef[,4]))
pander(coef, split.cell = 80, keep.trailing.zeros = TRUE,
        split.table = Inf, round = c(4, 4, 4, 4, 4, 0),
        justify = c('left', 'right', 'right', 'right', 'right', 'left'),
        caption = paste0("\label{tbANOVA2}Análisis de varianza TEMP vs. MATACE"))

## ----reg2, echo=FALSE, fig.cap="\label{reg2}TEMP vs. MATACE"-----
plt <- ggplot(df_factores, aes(x=MATACE, y=TEMP)) +
  geom_point(color="lightblue") +
  stat_summary(geom = "line", fun = mean, group=1, color="red") +
  #geom_smooth(color="red", method="lm", formula = y~x) +
  theme_solarized(base_size = 8) +
  theme(axis.text.x = element_text(hjust = 1)) +
  scale_colour_solarized("blue")
plt

## ----anova3, echo=FALSE-----

df_factores <- df_datos
df_factores$MATACE <- as.factor(df_factores$ORIENT)
formula <- 'TEMP ~ ORIENT'
mod <- lm(formula, data = df_factores)
res <- summary(mod)
coef <- as.data.frame(res$coefficients)
coef <- cbind(coef, Sig=pon_estrellas(coef[,4]))
pander(coef, split.cell = 80, keep.trailing.zeros = TRUE,
```

```
split.table = Inf, round = c(4, 4, 4, 4, 4, 0),  
justify = c('left', 'right', 'right', 'right', 'right', 'left'),  
caption = paste0("\label{tbANOVA3}Análisis de varianza TEMP vs. ORIENT"))
```

```
## ----reg3, echo=FALSE, fig.cap="\label{reg3}TEMP vs. ORIENT"-----  
plt <- ggplot(df_factores, aes(x=ORIENT, y=TEMP)) +  
  geom_point(color="lightblue") +  
  stat_summary(geom = "line", fun = mean, group=1, color="red") +  
  #geom_smooth(color="red", method="lm", formula = y~x) +  
  theme_solarized(base_size = 8) +  
  theme(axis.text.x = element_text(hjust = 1)) +  
  scale_colour_solarized("blue")  
plt  
  
## ----anova4, echo=FALSE-----  
  
df_factores <- df_datos  
formula <- 'TEMP ~ ARB'  
mod <- lm(formula, data = df_factores)  
res <- summary(mod)  
coef <- as.data.frame(res$coefficients)  
coef <- cbind(coef, Sig=pon_estrellas(coef[,4]))  
pander(coef, split.cell = 80, keep.trailing.zeros = TRUE,  
  split.table = Inf, round = c(4, 4, 4, 4, 4, 0),  
  justify = c('left', 'right', 'right', 'right', 'right', 'left'),  
  caption = paste0("\label{tbANOVA4}Análisis de varianza TEMP vs. ARB"))  
  
## ----reg4, echo=FALSE, fig.cap="\label{reg4}TEMP vs. ARB"-----  
plt <- ggplot(df_factores, aes(x=ARB, y=TEMP)) +  
  geom_point(color="lightblue") +  
  geom_smooth(color="red", method="lm", formula = y~x, size = 0.5, se = FALSE) +  
  theme_solarized(base_size = 8) +  
  theme(axis.text.x = element_text(hjust = 1)) +  
  scale_colour_solarized("blue")  
plt  
  
## ----anova6, echo=FALSE-----  
  
df_factores <- df_datos  
formula <- 'VELVIEN ~ ALTUPROM'  
mod <- lm(formula, data = df_factores)  
res <- summary(mod)  
coef <- as.data.frame(res$coefficients)  
coef <- cbind(coef, Sig=pon_estrellas(coef[,4]))  
pander(coef, split.cell = 80, keep.trailing.zeros = TRUE,  
  split.table = Inf, round = c(4, 4, 4, 4, 4, 0),  
  justify = c('left', 'right', 'right', 'right', 'right', 'left'),  
  caption = paste0("\label{tbANOVA6}Análisis de varianza VELVIEN vs. ALTUPROM"))  
  
## ----reg5, echo=FALSE, fig.cap="\label{reg5}VELVIEN vs. ALTUPROM"-----  
plt <- ggplot(df_factores, aes(x=ALTUPROM, y=VELVIEN)) +  
  geom_point(color="lightblue") +  
  geom_smooth(color="red", method="lm", formula = y~x, size = 0.5, se = FALSE) +  
  theme_solarized(base_size = 8) +  
  theme(axis.text.x = element_text(hjust = 1)) +  
  scale_colour_solarized("blue")  
plt
```

```
## ----anova7, echo=FALSE-----  
  
df_factores <- df_datos  
formula <- 'VELVIEN ~ CANURB'  
mod <- lm(formula, data = df_factores)  
res <- summary(mod)  
coef <- as.data.frame(res$coefficients)  
coef <- cbind(coef, Sig=pon_estrellas(coef[,4]))  
pander(coef, split.cell = 80, keep.trailing.zeros = TRUE,  
        split.table = Inf, round = c(4, 4, 4, 4, 4, 0),  
        justify = c('left', 'right', 'right', 'right', 'right', 'left'),  
        caption = paste0("\label{tbANOVA7}Análisis de varianza VELVIEN vs. CANURB"))  
  
## ----reg6, echo=FALSE, fig.cap="\label{reg6}VELVIEN vs. CANURB"-----  
plt <- ggplot(df_factores, aes(x=CANURB, y=VELVIEN)) +  
  geom_point(color="lightblue") +  
  geom_smooth(color="red", method="lm", formula = y~x, size = 0.5, se = FALSE) +  
  theme_solarized(base_size = 8) +  
  theme(axis.text.x = element_text(hjust = 1)) +  
  scale_colour_solarized("blue")  
plt  
  
## ----anova8, echo=FALSE-----  
  
df_factores <- df_datos  
formula <- 'VELVIEN ~ ANCHO'  
mod <- lm(formula, data = df_factores)  
res <- summary(mod)  
coef <- as.data.frame(res$coefficients)  
coef <- cbind(coef, Sig=pon_estrellas(coef[,4]))  
pander(coef, split.cell = 80, keep.trailing.zeros = TRUE,  
        split.table = Inf, round = c(4, 4, 4, 4, 4, 0),  
        justify = c('left', 'right', 'right', 'right', 'right', 'left'),  
        caption = paste0("\label{tbANOVA8}Análisis de varianza VELVIEN vs. ANCHO"))  
  
## ----reg7, echo=FALSE, fig.cap="\label{reg7}VELVIEN vs. ANCHO"-----  
plt <- ggplot(df_factores, aes(x=ANCHO, y=VELVIEN)) +  
  geom_point(color="lightblue") +  
  geom_smooth(color="red", method="lm", formula = y~x, size = 0.5, se = FALSE) +  
  theme_solarized(base_size = 8) +  
  theme(axis.text.x = element_text(hjust = 1)) +  
  scale_colour_solarized("blue")  
plt  
  
## ----anexo, echo=FALSE-----  
pander(df_datos[, 1:8], split.cell = 80, split.table = Inf,  
        caption = "\label{tbDat1}Datos (primera parte)")  
pander(df_datos[, 9:16], split.cell = 80, split.table = Inf,  
        caption = "\label{tbDat2}Datos (segunda parte)")  
pander(df_datos[, 17:23], split.cell = 80, split.table = Inf,  
        caption = "\label{tbDat3}Datos (tercera parte)")  
  
## ----tabfrec1, echo=FALSE, results='asis'-----  
panderOptions('knitr.auto.asis', FALSE)  
panderOptions('keep.trailing.zeros', TRUE)  
df_tmp <- df_datos[df_datos$Tramo == "TPG", ]  
nombres <- colnames(df_tmp)  
for (j in 5:23) {  
  obj <- tab_frec(df_tmp[, j], nom=nombres[j])  
  pander(obj$tab, split.cell = 80, row.names = FALSE, split.table = Inf,
```

```
justify = c('left', 'right', 'right', 'right', 'right'),
digits = c(0, 0, 3, 0, 3),
caption = paste0("\\label{tbfreqTPG", j, "}Tabla de frecuencias de ",
                nombres[j])
}
panderOptions('keep.trailing.zeros', FALSE)
panderOptions('knitr.auto.asis', TRUE)

## ----tbfreq2, echo=FALSE, results='asis'-----
panderOptions('knitr.auto.asis', FALSE)
panderOptions('keep.trailing.zeros', TRUE)
df_tmp <- df_datos[df_datos$Tramo == "TB", ]
nombres <- colnames(df_tmp)
for (j in 5:23) {
  obj <- tab_freq(df_tmp[, j], nom=nombres[j])
  pander(obj$tab, split.cell = 80, row.names = FALSE, split.table = Inf,
        justify = c('left', 'right', 'right', 'right', 'right'),
        digits = c(0, 0, 3, 0, 3),
        caption = paste0("\\label{tbfreqTB", j, "}Tabla de frecuencias de ",
                        nombres[j])
  #print(obj$plt)
}
panderOptions('keep.trailing.zeros', FALSE)
panderOptions('knitr.auto.asis', TRUE)

## ----plt1, echo=FALSE, results='asis'-----
df_tmp <- df_datos[df_datos$Tramo == "TPG", ]
nombres <- colnames(df_tmp)
for (j in 5:23) {
  obj <- tab_freq(df_tmp[, j], nom=nombres[j])
  print(obj$plt)
  cat("\n\n")
}

## ----plt2, echo=FALSE, results='asis'-----
df_tmp <- df_datos[df_datos$Tramo == "TB", ]
nombres <- colnames(df_tmp)
for (j in 5:23) {
  obj <- tab_freq(df_tmp[, j], nom=nombres[j])
  print(obj$plt)
  cat("\n\n")
}
```

BIBLIOGRAFÍA

- Bustamante Campoverde, A. S. (2018). Análisis de la isla de calor urbana en el entorno andino de Cuenca-Ecuador. *Investigaciones geográficas*, 70, 167. <https://doi.org/10.14198/ingeo2018.70.08>
- Carrasco Aldunate, C. (2008). *Morfología y microclima urbano. Análisis de la forma espacial y materiales como modeladores del microclima de tejidos urbanos mediterráneos costeros. El caso de la ciudad de Valparaíso* [Phd]. Universidad de Barcelona.
- Castillo, A., Correa, É., & Cantón, M. (2019). Geomorfología y forma urbana. Comportamiento térmico de distintas tramas en áreas de piedemonte: el caso de Mendoza, Argentina. *EURE. Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*, 45(136), 183–207. <https://doi.org/10.4067/s0250-71612019000300183>
- Chicas, J. C. (2012). *Morfología urbana y clima urbano estudio de microclimas urbanos en Santiago de Chile, mediante la aplicación del concepto de cañón urbano e índices de confort térmico* [MSc]. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Cordero Ordóñez, X. (2014). *Microclima y confort térmico: Análisis sobre la influencia de la morfología del cañón urbano caso de estudio en los barrios El Raval y Gracia, Barcelona* [MSc]. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona.
- Corporación Universitaria de Investigación Atmosférica. (2021). *Calentamiento Global*. MetEd.

https://www.meted.ucar.edu/training_module.php?id=546#.XmLiLahKg2w

Diario Hoy en Imbabura. (2017, junio 5). *Ibarra resgistró la temperatura más alta en lo que va del año*. Hoy en Imbabura. <https://hoyenimbabura.com/2017/06/05/ibarra-registro-la-temperatura-mas-alta-en-lo-que-va-del-ano/>

Domingo, A. M. (2011). *Apuntes de Transmisión del calor*. <https://oa.upm.es/6935/1/amd-apuntes-transmision-calor.pdf>

Garreaud, R. D., Vuille, M., Compagnucci, R., & Marengo, J. (2009). Present-day south American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281(3–4), 180–195. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.10.032>

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra. (2020). *Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial de San Miguel de Ibarra*. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra. https://www.ibarra.gob.ec/site/docs/estrategico/PDYOT_2020.pdf

IPCC. (2013). Glosario. En Planton, S (Ed.), *En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

Kotharkar, R., Ramesh, A., & Bagade, A. (2018). Urban Heat Island studies in South Asia: A critical review. *Urban Climate*, 24, 1011–1026. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.12.006>

- Magro, S., Agirre, J., & Awad, S. (2018, agosto 21). *¿Cómo podemos combatir (de verdad) la isla de calor en la ciudad? Aquí van dos recetas*. El Confidencial. https://blogs.elconfidencial.com/tecnologia/tribuna/2018-08-21/isla-calor-recetas_1606434/
- Maldonado González, F. M. (2019). *Efecto de la morfología urbana sobre el fenómeno Isla de Calor en el espacio público, caso de estudio centro de manzana del Barrio Solanda en el sur de la ciudad de Quito* [MSc]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Mercado Maldonado, L., & Marincic Lovriha, I. (2017). Morfología de Isla de Calor Urbana en Hermosillo, Sonora y su aporte hacia una ciudad sustentable. *Bioclimática*, 19, 27–33. <https://doi.org/10.18633/bioteconia.v19i0.407>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2001). *Cambio Climático*. Comité Nacional sobre el Clima. <https://unfccc.int/resource/docs/natc/ecunc1s.pdf>
- ONU-Habitat. (2011). *Cities and climate change*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781849776936>
- Organización de las Naciones Unidas, H. (2017). *División de Desarrollo Sostenible*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales - División de Desarrollo Sostenible. <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm>
- Pigliautile, I., & Pisello, A. L. (2020). Environmental data clustering analysis through wearable sensing techniques: New bottom-up process aimed to identify intra-urban granular morphologies from pedestrian transects.

- Building and Environment*, 171(106641), 106641.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106641>
- Pozo, S. (2017). *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 Rogríguez y Lizardo García, Barrio La Mariscal* [MSc]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Puntanen, S. (2008). Linear models in statistics, second edition by Alvin C. Rencher, G. Bruce Schaalje. *Revue Internationale de Statistique [International Statistical Review]*, 76(3), 445–445.
https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2008.00062_10.x
- Quiroz Benítez, D. E. (2013). Las ciudades y el cambio climático: el caso de la política climática de la Ciudad de México / Cities and Climate Change: The Case of the Climate Policy of Mexico City. *Estudios demográficos y urbanos*, 28(2), 343. <https://doi.org/10.24201/edu.v28i2.1432>
- Ranchal, E. C. (2004). Microclimas urbanos: la importancia de los materiales. *El clima, entre el mar y la montaña: [aportaciones presentadas al IV Congreso de la Asociación Española de Climatología, Santander, 2-5 de noviembre de 2004]*, 571–582.
- Rencher, A. C., & William F, C. (2012). *Methods of multivariate analysis*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/0471271357>
- Rosas Lusett, M. A. (2019). Islas de calor en la zona conurbada del río Pánuco. *ACE Architecture City and Environment*, 13(39), 63–74.
<https://doi.org/10.5821/ace.13.39.5359>
- Shaftel, H. (2021). *The Causes of Climate Change*. NASA Global Climate

Change. <http://climate.nasa.gov/causes/>

Sharif, M. M. (2018). Promoting sustainable human settlements: Its relevance to the 2030 agenda. *UN Chronicle*, 55(2), 23–25. <https://doi.org/10.18356/eecd309c-en>

Taracena, E. (2013). La Morfología Urbana: otro concepto importante en la urbanización. *Arquitectura, Literatura*. <https://conarqket.wordpress.com/2013/08/08/la-morfologia-urbana-otro-concepto-importante-en-la-urbanizacion/>

Therán, K., Rodríguez, L., Mouthon, S., & Manjarres, J. (2019). Microclima y Confort Térmico. *Módulo arquitectura CUC*, 23, 49–88. <https://doi.org/10.17981/mod.arq.cuc.23.1.2019.04>

Tumini, I. (2012). *El microclima urbano en los espacios abiertos: estudio de casos en Madrid* [PhD]. Universidad Politécnica de Madrid.

United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2019). Source of data on urban and city population. En *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision* (pp. 81–99). UN. <https://doi.org/10.18356/d9db1058-en>

U.S. Environmental Protection Agency. (2008). *Reducing urban heat islands: Compendium of strategies. Draft*. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>

Vargas, O., & Molina, L. F. (2014). Arborizaciones urbanas: estrategia para mitigar el calentamiento global. *Revista NODO*, 8, 99–108.

Villanueva-Solis, J., Ranfla, A., & Quintanilla-Montoya, A. L. (2013). Isla de Calor Urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido Extremo. *CIT Informacion Tecnologica*, 24(1), 80

15–24. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642013000100003>

Voogt, J. (2007). *How Researchers Measure Urban Heat Islands*. Department of Geography, University of Western Ontario, London ON Canada. https://swap.stanford.edu/20120109061918/http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/EPA_How_to_measure_a_UHI.pdf

Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. E. (2010). *Probability and statistics for engineers and scientists* (9a ed.). Pearson Education Limited.

Ziegel, E. R., & Lehmann, E. L. (2000). Elements of large-sample theory. *Technometrics: a journal of statistics for the physical, chemical, and engineering sciences*, 42(2), 224. <https://doi.org/10.2307/1271493>