



Facultad de Arquitectura, Artes y Diseño

Carrera de Arquitectura

**TÍTULO:
“LOS EFECTOS DE LAS ISLAS DE CALOR URBANO EN
LAS CIUDADES DEL ECUADOR”**

**CASO DE ESTUDIO
Quito, Guayaquil y Cuenca**

**RESPONSABLE ACADÉMICO:
PHD Arq. Diana Paola Maigua López**

AMBATO – ECUADOR

AÑO 2021 -2022

Coordinación de Investigación UTI

Ambato: Bolívar 20-35 y Guayaquil, 4to. Piso, Telf.: (03) 2421452 - Ext. 162

Quito: Machala y Sabanilla, Telf.: (02) 3998209- Ext. 326, investigacion@uti.edu.ec

A. DATOS GENERALES DEL PROYECTO

A.1. Título del Proyecto:

**“LOS EFECTOS DE LAS ISLAS DE CALOR URBANO EN LAS CIUDADES DEL ECUADOR”
CASO DE ESTUDIO
Ciudades
Quito, Guayaquil y Cuenca**

Facultad: Facultad de Arquitectura, Artes y Diseño

Carrera: Arquitectura

Director del proyecto: Arq. Paola Maigua López

Grupo de Investigación: Arq. Paola Maigua López y Arq. Andrea Medina Enríquez

Duración del proyecto: 12 meses

Presupuesto total del proyecto: 15575,12 USD

Presupuesto financiado por UTI: 15575,12 USD

Presupuesto financiado con fondos externos:

A.2. RESUMEN

El cambio del microclima en las ciudades por el crecimiento acelerado de la urbanización es un fenómeno que tiene como consecuencia la presencia de ICU (Isla de Calor Urbano) por causa de las actividades antropogénicas, geometría urbana y uso de materiales de construcción (pavimento y piedra), desde esta perspectiva todas las ciudades presentan ICU, por consiguiente, las ciudades que han tenido un crecimiento rápido de urbanización en el Ecuador presenta este fenómeno. La investigación se divide en 3 ejes temáticos, 1) Ciudades Quito, Guayaquil y Cuenca, analiza desde el año 1977 a 2019, el crecimiento poblacional, morfología urbana y NDVI para ello se usa el software SAGA GIS y la técnica de la teledetección. Eje 2, Forma urbana y Local Climate Zone (LCZ) se aplica en las ciudades de estudio, se usa el software SAGA GIS y la técnica teledetección y 3) geometría urbana es analizada con el software QGIS a través del plugin UMEP, con ello se obtiene un mapa raster de factor de visión del cielo, porcentaje de aspecto; con el plugin thrjees se realiza la volumetría de las edificaciones existentes, para identificar los elementos del cañón urbano, Eje 3, Clima urbano, se analiza la Temperatura de superficie (Ts), Temperatura del aire (Ta), albedo y calor antropogénico. Para conocer Ta, en la clasificación LCZ, se aplica el método estimación de densidad de Kernel a través de la geoestadística. En los prototipos más representativos se calcula 1) radiancia espectral, 2) temperatura de brillo, 3) índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), 4) Proporción de vegetación (Pv), 5) emisividad, 6) Ts. El calor antropogénico (Qf) es calculado con el flujo de calor generado por el consumo de electricidad en las edificaciones (Qfb) + el flujo de calor de la combustión de los vehículos (Qfv) + el flujo de calor del metabolismo humano y animal (Qfm). Una vez obtenidas las tres variables LCZ, Ts y Ta se aplica la geoestadística correlación obteniendo como resultado, LCZ y Ts correlación moderada negativa, LCZ y Ta correlación moderada negativa; Ta y Ts correlación fuerte positiva.

Palabras clave: ciudad, forma urbana y clima urbano

A.3. ANTECEDENTES E IMPORTANCIA DEL PROYECTO:

Problemática:

El cambio del microclima en las ciudades, se presenta por causa del crecimiento acelerado de la urbanización; este fenómeno tiene como consecuencia la presencia de la ICU (Isla de Calor urbano) y como efecto el incremento de la temperatura del aire, temperatura de superficie, disminución del albedo, absorción del calor.

La urbanización en la ciudad, ha traído consigo el incremento de suelo impermeable (construcciones, asfalto, cemento, etc.) y la disminución de la vegetación en el territorio, por lo tanto, las ciudades del Ecuador, presentan estas características, un cambio en el microclima y por ende está presente ICU (Isla de Calor Urbano),

Los efectos de la urbanización y el cambio climático están convergiendo de modo peligroso. Las ciudades son las principales contribuyentes al cambio climático, aunque representan menos del 2% de la superficie de la tierra, las ciudades consumen el 78% de la energía mundial, y producen más del 60 % del total de dióxido de carbono, así como un monto significativo de las emisiones de los gases del efecto invernadero; principalmente a través de la generación de energía, vehículos, industria y uso de la biomasa. (HABITAT, 2011)

El crecimiento rápido en las tres ciudades más pobladas del Ecuador, Quito, Guayaquil y Cuenca en los últimos 33 años, es un fenómeno que se repite en los países de Sudamérica, teniendo efectos como la presencia de la isla de calor urbano. Además, las ciudades y el cambio climático están estrechamente relacionados debido al crecimiento acelerado de la población, la urbanización de las ciudades y la huella de contaminación que deja este fenómeno; sin embargo, este impacto ambiental puede ser decreciente, si la urbanización incluye a la naturaleza, es decir, si predomina más, el verde (arborización, vegetación) y el azul (lagos, canales naturales y fuentes) de manera que la naturaleza, sea parte de donde siempre fue.

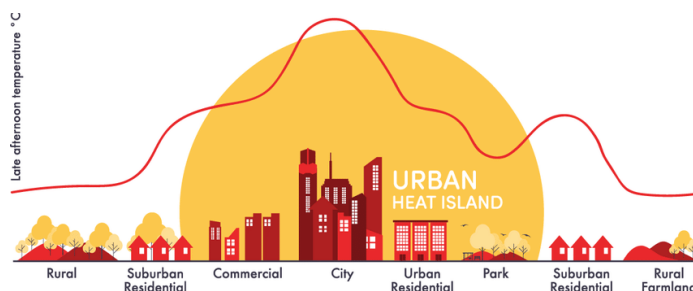
La isla de calor urbano conocida como ICU es,

... es un reflejo de la totalidad de los cambios microclimáticos provocados por las alteraciones de la superficie urbana hechas por el hombre. Incluso un solo complejo de edificios mostrará un microclima diferente en comparación a un terreno en estado natural. Las superficies pavimentadas, paredes almacenan parte del calor recibido durante el día y lo desprenderán después de la puesta del sol al medioambiente.¹(LANDSBERG, 1981,)

Es así, que existe una estrecha relación entre la isla de calor urbano y la geometría urbana, en el siguiente gráfico se evidencia el problema que existe actualmente en las ciudades, se observa que el crecimiento urbano en donde se concentra gran cantidad de edificaciones presenta un aumento en la temperatura del aire a diferencia de su entorno en donde no se encuentra una alta concentraciones de edificaciones, en donde la temperatura del aire es menor; este fenómeno ICU se intensifica aún más las emisiones de gases emitidos por el transporte.

¹ The heat island is a reflection of the totality of microclimatic changes brought about by man-made alterations of the urban surface. Even a single building complex will show a different microclimate than an equal piece of land in its natural state. The paved surfaces and walls will store some of the heat received in daytime and give it off after sunset to its air environment.

Figura 1: Isla de Calor Urbano (ICU)



Nota: <https://la.network/islas-de-calor/>

Con todos estos antecedentes, el problema central de esta investigación es la formación de la isla de calor urbano (ICU) en las ciudades del Ecuador, específicamente Guayaquil, Quito y Cuenca, el conocer las causas puede contribuir a redefinir las ordenanzas urbanas municipales relacionadas a la planificación urbana.

A.4. Tipo de Investigación:

Básica ☐ Aplicada ☐ Experimental ☒

- **Investigación Básica:** Consiste en trabajos teóricos o empíricos que se emprenden fundamentalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de fenómenos, sin pensar obligadamente en darles ninguna aplicación o utilización determinada.
- **Investigación Aplicada:** Consiste en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos. Está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico.
- **Investigación Experimental:** Consiste en trabajos en los cuales se ponen a prueba una o varias hipótesis acerca de un fenómeno determinado, a través de la manipulación de la variable o variables que presumiblemente son la causa del fenómeno en estudio. En general, los experimentos también controlan los efectos de variables que no son de interés del estudio, pero que pueden influenciar en los datos.

A.5. Áreas del conocimiento:

UNESCO

Área del conocimiento en la que se enmarca el proyecto, según la Clasificación Internacional Normalizada de la Educación (CINE) de la UNESCO

Educación
Humanidades y artes
Ciencias sociales, educación comercial y derecho
Ciencias
Ingeniería, industria y construcción
Agricultura

X

Salud y servicios sociales
 Servicios
 Sectores desconocidos no especificados

A.6. Equipo de trabajo:

Nº	Participantes	Categoría	Rol a desempeñar en el proyecto	Afiliación Institucional
1	Diana Paola Maigua López	Investigador asociado	Coordinador del proyecto, investigador, auxiliares)	FAAD /DITES
2	Andrea Medina Enríquez	Investigador asociado, investigador auxiliar, estudiantes,)	Investigador, auxiliar	FAAD /DITES
3	Ana Paula Mayorga Alvarado	Estudiante	Personal de apoyo	FAAD /DITES
4	Adriel Augusto Aguilar Armijo	Estudiante	Personal de apoyo	FAAD /DITES
5	A designar el Decano de la Facultad	Estudiante	Personal de apoyo	FAAD /DITES

A.7. Líneas de investigación

Indicar la línea de investigación a la que aplica el proyecto, teniendo en cuenta las líneas de investigación vigentes por cada uno de los centros que conforman el Centro de Investigación de la UTI:

Centro Empresa, Sociedad y Tecnología ESTec

Desarrollo económico e innovación de las MIPYMES .	
Estudio de los mercados y del consumo	
Economía experimental y sus aplicaciones a la teoría económica.	

Centro de Investigación en Mecatrónica y Sistemas Interactivos MIST

Análisis, diseño y desarrollo de sistemas inteligentes aplicables a la industria.	
Estudio de la relación entre el ser humano y la tecnología de su entorno	

Diseño y desarrollo de prototipos de sistemas electromecánicos, electrónicos, mecánicos, y de distribución energética, basados en arquitecturas nóveles y/o sistemas embebidos	
--	--

Centro de Biodiversidad y Cambio Climático BIOCAMB

Biodiversidad y Biogeografía	
Ecología y Medio Ambiente	
Cambio Climático	

Centro de Investigación para el Territorio y el Hábitat Sostenible – CITEHS

Geo-informática/Geo-estadística	X
Dinámicas del territorio	
Geografía de la Recursos Naturales y Gestión Ambiental	X

Centro de Investigación de las Ciencias Humanas y de la Salud – CICHE

Calidad de la Educación, innovación y tecnología educativa	
Evaluación, formación y desarrollo profesional de estudiantes y docentes	
Gestión tecnológica de los procesos universitarios	
Políticas educativas y desarrollo tecnológico.	
Desarrollo y aplicación de instrumentos de evaluación e intervención en salud, educación, trabajo y bienestar humano.	
Aplicaciones en Neuropsicología	

Unidad Operativas de Investigación (Facultad o Carrera)

Facultad de arquitectura

Grupos de Investigación

Diseño, Técnica y Sostenibilidad DITES

B. PROPUESTA DEL PROYECTO

B.1. Introducción

El proceso de urbanización y crecimiento poblacional desde la época de la industria ha tenido un crecimiento acelerado, este hito importante trajo consigo la expansión urbana de muchas ciudades en el mundo y con ello la disminución del índice de vegetación en el

paisaje natural y el incremento del índice de construcción que ha ido cubriendo la superficie de las ciudades con materiales impermeables (pavimento, concreto, asfalto etc.) convirtiendo grandes extensiones en áreas impermeables que impiden el drenaje natural de las aguas lluvias, la filtración de agua a los acuíferos, además, provocan la disminución del albedo, lo que ocasiona una gran absorción de la radiación solar y por consiguiente el calentamiento de las superficies en las ciudades.

La ICU evidencia el impacto del hábitat construido sobre el medio físico y su efecto produce el aumento de temperatura en el aire. La mayoría de las emisiones GEI (gas efecto invernadero) que contribuyen al cambio climático global, provienen de zonas urbanas. Desde este contexto varios estudios científicos relacionados con la climatología urbana han sido realizados por investigadores como Helmut E. Landsberg (1981), Timothy R. Oke (1982, 2012) y Sue Grimmond (2007) quienes son parte de International Association for Urban Climate² y la base teórica de esta investigación.

Por otra parte, el proceso de urbanización a escala de ciudad requiere de servicios básicos como: agua potable, alcantarillado, drenaje pluvial, alumbrado público, internet, recolección de residuos, transporte, vivienda, etc., estos servicios demandan electricidad y combustibles para funcionar; siendo el uso del transporte en la ciudad el que emite mayormente CO₂ (dióxido de carbono) por el uso de combustible derivado de recursos fósiles y la cantidad de viajes interurbanos. Además, las edificaciones con uso destinado a vivienda, servicios, comercio, salud, educación, recreación, etc., para hacerlas habitables y confortables de acuerdo con el clima y entorno donde se encuentran, requiere de iluminación, aire acondicionado, calefactores, electrodomésticos, etc., los mismos que necesitan de energía eléctrica y/o gas para su funcionamiento.

En este contexto, el gran consumo de energía eléctrica y combustible, por parte de los vehículos y edificaciones genera calor y si, a esto se suma el calor generado por el metabolismo humano y animal obtenemos un gran flujo de calor que se concentra en las ciudades llamado calor antropogénico el cual aporta al cambio del microclima urbano.

El fenómeno de la urbanización acelerada y sus consecuencias en el medio ambiente se replica en varias partes del mundo, lo cual es actualmente una preocupación para la organización de Las Naciones Unidas,

Los efectos de la urbanización y el cambio climático están convergiendo de modo peligroso. Las ciudades son las principales contribuyentes al cambio climático, aunque representan menos del 2% de la superficie de la tierra, las ciudades consumen el 78% de la energía mundial, y producen más del 60 % del total de dióxido de carbono, así como un monto significativo de las emisiones de los gases del efecto invernadero; principalmente a través de la generación de energía, vehículos, industria y uso de la biomasa. (ONU HABITAT 2011)

Las ciudades y el cambio climático están relacionadas debido al crecimiento acelerado de la población, la urbanización de las ciudades y la huella de contaminación que deja este fenómeno; sin embargo, este impacto ambiental puede ser decreciente, si la urbanización incluye a la naturaleza, es decir, si predomina más, el verde (arborización, vegetación) y el azul (lagos, canales naturales y fuentes) de manera que la naturaleza, sea parte de donde siempre fue.

² Asociación internacional para el Clima Urbano, (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR URBAN CLIMATE, 2004)

El crecimiento urbano en cada ciudad crea una morfología singular con diversas formas urbanas influenciada por la topografía, relieve y clima, sin embargo, en el de la ciudad con morfología dispersa el número de viajes interurbanos se incrementa y por ende el consumo de combustible.

Entonces mientras más dispersa es una ciudad, se requiere de mayores recursos para su funcionamiento, lo que produce mayores emisiones de gases CO₂, entre otros, los mismos que conforman el Gas Efecto Invernadero (GEI) y si fuese a la inversa, si la ciudad fuese compacta con uso de suelo mixtos, disminuirían el número de viajes, se usaría menos recursos y si a esto le añadimos el uso de energías renovables y optimización de los recursos naturales (agua) su impacto en el medio ambiente sería menor.

En la actualidad las ciudades que han tenido un gran cambio en la inclusión de la naturaleza en la planificación urbana son llamadas ciudades sustentables o ciudades con urbanismo sustentable, según ECONOMIST INTELLIGENCE UNIT (2009, p. 10) en su libro *The European Green City Index*³ al realizar un estudio en el año 2009 sobre treinta ciudades europeas para conocer cuál es la Ciudad más sustentable, como resultado obtuvieron que la Ciudad de Copenhague era la más sustentable, porque el transporte ocupa energía eléctrica, los edificios han implementado el sistema de eficiencia energética, tienen cinturones verdes, azules, el sistema de drenaje pluvial es reciclado, las personas a 350 metros, caminando encuentran servicios de comercio, educación y transporte; además, de la recuperación de ríos y canales naturales, lo que ha permitido la integración de la naturaleza a la ciudad; recordando que la vegetación en la ciudad es un regulador de la temperatura; es por ello, que Copenhague se ha convertido en un ejemplo para el mundo.

Ahora bien, las ciudades que carecen de lo mencionado en el ejemplo anterior, son las que padecen con mayor intensidad los efectos de la isla de calor urbano (ICU), siendo este fenómeno un factor común en muchas ciudades del mundo.

Según LANDSBERG (1981, p. 9), el rápido aumento en el tamaño de las áreas metropolitanas después de la Segunda Guerra Mundial y la creciente industrialización, con cambios alarmantes en los aerosoles, el deterioro de la visibilidad y muchas otras alteraciones atmosféricas condujeron a una multiplicidad de estudios de clima urbano, además, indica que la distinción entre los entornos urbanos y rurales circundantes radica en su estructura superficial completamente diferente. En términos cualitativos, el paisaje natural o agrícola se caracteriza por la vegetación y un suelo productivo, generalmente permeable. El área urbana, en contraste, tiene una cobertura de superficie altamente compacta e impermeable. En estos dos escenarios el almacenamiento del calor es diferente.

Por otra parte, Stewart y Oke (2012, p.1881), indican cinco causas del efecto isla de calor urbano. Cada una representa una modificación del balance de energía en la superficie y la radiación; 1) Mayor absorción de la radiación solar debido a la reflexión múltiple y la captura de radiación mediante la construcción de paredes y superficies verticales en la ciudad, 2) Mayor retención de la radiación infrarroja en los cañones de la calle debido a la visión restringida del hemisferio del cielo, 3) Mayor captación y demora en la liberación de calor por parte de edificios y superficies pavimentadas en la ciudad, 4) La mayor parte de la radiación solar absorbida en la superficie se convierte en formas de calor sensibles en lugar de latentes y 5) Mayor liberación de calor sensible y latente de la quema de combustibles para el transporte urbano, la industrial y el uso de calefacción y aire acondicionado en edificaciones.

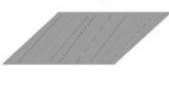
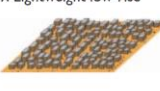
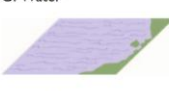
³ Índice de Ciudad Verde Europea

Stewart y Oke (2012), proponen un sistema de clasificación llamado “Local Climate Zone⁴” (LCZ) para investigaciones de estudios de islas de calor urbano y estandariza el intercambio mundial de observaciones de temperatura urbana.

Esta clasificación analiza la temperatura de la ciudad a través de diez tipos de formas de construcción y siete tipos de coberturas de suelos, estos prototipos son llamados Local Climate Zone (LCZ), los cuales son patrones de morfología urbana que tienen relación con el comportamiento climático urbano, la finalidad de LCZ es llegar a una comprensión profunda de la interacción entre la forma física y el contexto climático.

Figura 2

Clasificación Local Climate Zone

Built types	Definition	Land cover types	Definition
1. Compact high-rise 	Dense mix of tall buildings to tens of stories. Few or no trees. Land cover mostly paved. Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	A. Dense trees 	Heavily wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
2. Compact midrise 	Dense mix of midrise buildings (3–9 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	B. Scattered trees 	Lightly wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
3. Compact low-rise 	Dense mix of low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	C. Bush, scrub 	Open arrangement of bushes, shrubs, and short, woody trees. Land cover mostly pervious (bare soil or sand). Zone function is natural scrubland or agriculture.
4. Open high-rise 	Open arrangement of tall buildings to tens of stories. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	D. Low plants 	Featureless landscape of grass or herbaceous plants/crops. Few or no trees. Zone function is natural grassland, agriculture, or urban park.
5. Open midrise 	Open arrangement of midrise buildings (3–9 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	E. Bare rock or paved 	Featureless landscape of rock or paved cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert (rock) or urban transportation.
6. Open low-rise 	Open arrangement of low-rise buildings (1–3 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Wood, brick, stone, tile, and concrete construction materials.	F. Bare soil or sand 	Featureless landscape of soil or sand cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert or agriculture.
7. Lightweight low-rise 	Dense mix of single-story buildings. Few or no trees. Land cover mostly hard-packed. Lightweight construction materials (e.g., wood, thatch, corrugated metal).	G. Water 	Large, open water bodies such as seas and lakes, or small bodies such as rivers, reservoirs, and lagoons.
8. Large low-rise 	Open arrangements of large low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Steel, concrete, metal, and stone construction materials.	VARIABLE LAND COVER PROPERTIES	
9. Sparsely built 	Sparse arrangement of small or medium-sized buildings in a natural setting. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees).	b. bare trees	Leafless deciduous trees (e.g., winter). Increased sky view factor. Reduced albedo.
10. Heavy industry 	Low-rise and midrise industrial structures (towers, tanks, stacks). Few or no trees. Land cover mostly paved or hard-packed. Metal, steel, and concrete construction materials.	s. snow cover	Snow cover >10 cm in depth. Low admittance. High albedo.
		d. dry ground	Parched soil. Low admittance. Large Bowen ratio. Increased albedo.
		w. wet ground	Waterlogged soil. High admittance. Small Bowen ratio. Reduced albedo.

Nota: (Stewart & Oke, 2012)

⁴ Local Climate Zone, Zonas climática locale. (Traducción nuestra)

En el artículo “Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming⁵” en donde indica “Los cambios superficiales y atmosféricos asociados con la construcción y el funcionamiento de las ciudades son profundos⁶”, además, dice “Para cualquier barrio en cualquier ciudad el balance relativo de control depende de la naturaleza del entorno urbano, la actividad humana y las condiciones meteorológicas⁷”. (GRIMMOND, 2007, p. 83).

Los tres autores mencionados son citados en WUDAPT (The World Urban Database and Access Portal Tools⁸), “...esta iniciativa tiene como objetivo llenar los vacíos de datos los cuales son necesarios para resolver los desafíos globales de las ciudades y como guía para facilitar acciones basadas en el clima..”(REN et al., 2015, p.3), esta iniciativa sugiere el uso de la teledetección, SIG y el manejo del plugin UMEP⁹, (Urban Multi-scale Environmental Predictor¹⁰) el cual “es una colaboración entre University of Gothenburg, University of Reading y la University of Helsinki el cual consiste en un preprocesador, procesador y postprocesador” (Fredrik Lindberg, Ting Sun, Sue Grimmond, 2018), este plugin fue elaborado en el URBAN MICROMETEOROLOGY AT UNIVERSITY OF READING, quien dirige este laboratorio es la profesora Sue Grimmond, destacada investigadora de clima urbano. (READING, 2020)

En cuanto a la selección de las tres ciudades para este estudio, se lo realiza en base a las estadísticas del INEC, quienes indican que Quito, Guayaquil y Cuenca son las ciudades más pobladas del Ecuador y en donde se ha evidenciado el rápido crecimiento urbano.

El uso de nuevas técnicas y herramientas computacionales en la investigación del clima urbano es fundamental para el manejo de grandes bases de datos de elementos climatológicos y urbanísticos, es por ello que la implementación de la teledetección y los SIG son indispensables en esta investigación.

Con estos antecedentes esta investigación tiene como hipótesis, existe relación entre la morfología urbana (LCZ), la temperatura de superficie (Ts) y la temperatura del aire (Ta) en las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca; como preguntas de investigación, ¿el crecimiento urbano de las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca ha disminuido el índice de vegetación urbana? y ¿la morfología urbana influye en la modificación del clima urbano en las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca?

Objetivo General:

Conocer la relación entre la morfología urbana (LCZ), la temperatura de superficie (Ts) y la temperatura del aire (Ta) de las ciudades de Guayaquil, Quito y Cuenca, con el propósito de ser un aporte en el estudio de clima urbano de la ciudad y para ser aporte en la planificación urbana y elaboración de políticas urbanas en las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca.

⁵ Urbanización y cambio ambiental global: efectos locales del calentamiento urbano.

⁶ Surface and atmospheric changes associated with the construction and functioning of cities are profound. (Texto original)

⁷ For any neighborhood in any city, the relative balance of controls depends on the nature of the urban environment, human activity, and meteorological conditions. (Texto original)

⁸ Base de datos mundiales urbanos y las herramientas de acceso al portal. (Traducción nuestra)

⁹ Es un complemento compatible con QGIS, diseñado para trabajar temas de clima urbano y geometría urbana. (UMEP, 2016, p. 1)

¹⁰ UMEP, Predictor Ambiental a Múltiples Escalas Urbanas.

Objetivos Específicos:

- Conocer el crecimiento urbano desde el año 1977 al 2021, la disminución del índice de vegetación urbana de las ciudades de Guayaquil, Quito y Cuenca; esto relacionado con el área urbana de cada una de las ciudades.
- Clasificar en Local Climate Zone (LCZ) las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca utilizando la herramienta computacional SAGA GIS¹¹ y la técnica Teledetección, con el método de clasificación supervisada; esto con imágenes satelitales LANDSAT 8 en una temporalidad de cada 15 -16 días, en el mes más representativo de verano 2020, siendo el mes en el cual se intensifica la isla de calor urbano.
- Calcular en cada una de las LCZ más representativas de las ciudades de Guayaquil, Quito y Cuenca los parámetros de valoración de geometría urbana como son: Factor de visión al cielo, cañón urbano, porcentaje de área de construcción, porcentaje de superficie impermeable, porcentaje de superficie permeable, altura de la rugosidad de elementos, clasificación de la rugosidad del suelo, a través de Qgis con su complemento UMEP. Los parámetros de valoración termal como son: temperatura superficial, radiancia espectral, temperatura de brillo; además, el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), Proporción de vegetación (Pv), emisividad, admitancia de la superficie y calor antropogénico serán calculados con la técnica de la teledetección; esto con imágenes satelitales LANDSAT 8 en una temporalidad de cada 15 -16 días, en el mes más representativo de verano 2020, en el cual se intensifica la isla de calor urbano.
- Medir la temperatura del aire en las muestras seleccionadas de cada LCZ de las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca, a través del software ENVIMET.

Para el análisis de cada una de las variables se usa la herramienta computacional QGIS (Quantum GIS), el cual es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código libre que permite manejar formatos ráster y vectoriales.

Con el software SAGA GIS se realizará la clasificación LCZ, software creado específicamente para esta clasificación.

A través de QGIS se usa el plugin UMEP sugerido por la iniciativa WUDAPT, siendo una herramienta de servicio climático, diseñada para investigadores y proveedores de servicios (por ejemplo, arquitectos, climatólogos y planificadores urbanos), esta herramienta se puede utilizar para una variedad de aplicaciones relacionadas con el confort térmico, el consumo de energía urbana, la mitigación del cambio climático entre otros análisis.

En cada eje de investigación propuestos se obtiene mapas de base ráster de factor de visión, cañón urbano, área de construcción, área impermeable, área permeable, altura de los elementos (construcción y árboles), rugosidad del terreno de las ciudades del Ecuador. Con la técnica de la teledetección se aplica ecuaciones sugeridas por USGS¹²(U.S. Geological Survey) para el cálculo de la temperatura de superficie (Ts), previo al resultado se debe realizar el cálculo de la radiancia espectral, temperatura de brillo, índice de

¹¹ SAGA GIS, es la abreviación de System for Automated Geoscientific Analyses and Geographic Information System.

¹² Servicio Geológico de los Estados Unidos o USGS por sus siglas en inglés (United States Geological Survey), es una agencia científica del gobierno federal de los Estados Unidos. Los científicos de la USGS estudian el terreno, los recursos naturales, y los peligros naturales que los amenazan. La agencia se divide en 4 disciplinas científicas mayores: biología, geografía, geología e hidrología.

vegetación, el índice de construcción, proporción de vegetación, emisividad. Los datos de la Temperatura del aire (Ta) son recolectados in situ con sensores de temperatura ubicados a 2 metros sobre la superficie, con la información obtenida de las tres variables LCZ, Ts y Ta se realiza la correlación de datos aplicando técnicas geoestadísticas.

B.2. Metodología

El presente proyecto de investigación es de **tipo experimental**, con **enfoque cuantitativo**; se parte desde la premisa que "... la investigación experimental es cualquier investigación realizada con un enfoque científico, donde un conjunto de variables se mantiene constantes, mientras que el otro conjunto de variables se mide como sujeto del experimento." (QuestionPro, 2021); además, pretende conocer la relación causa – efecto "... is undertaken when a researcher wishes to trace cause-and-effect relationships between defined variables. However, there are major constraints on causal inference in experimental research, and the type of experimental design chosen has a significant influence on the inferences that can be validly drawn from experiment results. [...] se emprende cuando un investigador desea rastrear relaciones de causa y efecto entre variables definidas. Sin embargo, existen limitaciones importantes sobre la inferencia causal en la investigación experimental, y el tipo de diseño experimental elegido tiene una influencia significativa en las inferencias que pueden extraerse válidamente de los resultados del experimento.] (Williamsom, 2002, p.15)

En esta investigación se trabajará con el **diseño experimental verdadero**, "Este diseño es la forma más precisa de diseño de investigación experimental, ya que se basa en el análisis estadístico para probar o refutar una hipótesis. Es el único tipo de diseño experimental que puede establecer una relación de causa y efecto dentro de uno o varios grupos." (QuestionPro, 2021)

El tipo de diseño experimental puro es con **preprueba, postprueba y grupo de control**, para asignar el grupo de control se aplica el **método kernel**, este método es aplicado con QGIS¹, el cual consiste que a través de un algoritmo se identifica la mayor concentración de puntos identificados con las mismas características, cada punto representa una morfología urbana de las ciudades del Ecuador, una vez identificado el grupo de control se aplica las prepruebas, las cuales consisten en medir las variables de la geometría urbana.

El diseño experimental tiene tres factores que deben ser considerados:

1. Manipulación
2. Control o validez
3. Aleatoriedad

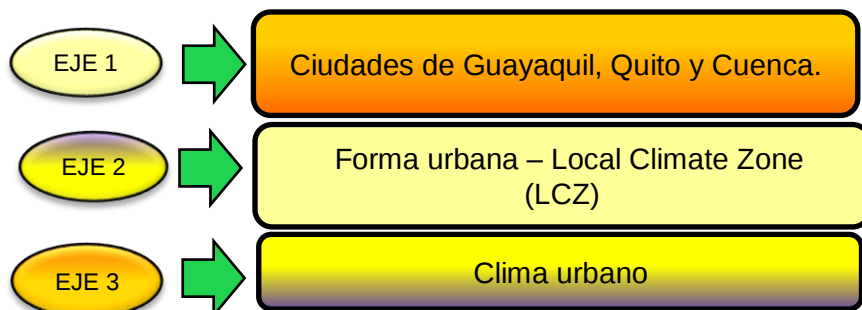
En la **manipulación** tiene como variable independiente la morfología urbana y como variable dependiente será las 1) propiedades de geometría urbana, 2) propiedades termal; en el **control o validez**, se aplicará el accuracy a través del software del software QGIS.

En cuanto a las técnicas de recolección de datos, la investigación tiene un **enfoque cuantitativo**, las técnicas de recolección de datos será: 1) fichaje y 2) mapas; el instrumento será 1) diario del investigador, 2) ficha de recolección de datos.

Después de ello se realiza el análisis, discusión de datos y conclusiones.

Esta investigación abarca varios subtemas relacionados con Ciudad y microclima urbano, siendo divididos en tres ejes temáticos de investigación (Ver figura 1) y en cada uno de ellos se desarrolla un análisis con la herramienta SIG y la técnica de teledetección.

Figura 3
Ejes investigación



Nota: Elaboración de la autora

El eje 1 – Ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca, se analiza el crecimiento urbano de las ciudades del Ecuador en los últimos 33 años, crecimiento poblacional, morfología urbana, NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada) con la herramienta SAGA GIS y la técnica de la teledetección. esto con imágenes satelitales LANDSAT 8 en una temporalidad de cada 15 -16 días, en el mes más representativo de verano Agosto en el cual se intensifica la isla de calor urbano, en periodos de cada 10 años.

En el eje 2 - Forma urbana y Local Climate Zone de las ciudades del Ecuador, a cada prototipo se realiza una valoración geométrica y de cobertura de superficie, para ello se obtiene porcentaje de área de construcción, porcentaje de superficie impermeable, porcentaje de superficie permeable, altura de la rugosidad de elementos, clasificación de la rugosidad del suelo, estos parámetros son geoprocesados con la herramienta computacional QGIS a través del complemento UMEP (Urban Multi-scale Environmental Predictor) con el plugin UMEP, para ello se utiliza un DEM (Modelo Digital de Elevación) y DSM (Modelo Digital de Superficie) del área de estudio y como resultado se obtiene un mapa basa ráster.

Un ejemplo (Ver figura 4) de lo que se pretende alcanzar es el mapa LCZ de la Ciudad de Viena, Austria, aquí predomina la tipología LCZ 2 (Compact mid- rise)¹³ y LCZ 6 (Open low- rise)¹⁴ y en las afueras de la ciudad la presencia de LCZ B (Scattered trees¹⁵) y LCZ D (Low plants and crops¹⁶). El mapa LCZ es de fácil comprensión para conocer el microclima de la ciudad.

Eje 3 - Clima urbano, se revisa conceptos de tiempo, clima, clima urbano, microclima, escalas atmosféricas de Oke,

Para la obtención de la temperatura de la superficie se requiere de imágenes satelitales Landsat 8, las mismas que serán descargadas a través del portal USGS (U.S. Geological Survey), <https://earthexplorer.usgs.gov/>, las imágenes Landsat 8 deberán tener nubosidad menos al 10%, las imágenes satelitales escogidas serán geoprocesadas con teledetección, para obtener la temperatura de la superficie se aplica 6 formulas, temperatura superficial, radiancia espectral, temperatura de brillo, índice de vegetación de

¹³ Compacto de media altura.

¹⁴ Compacto de baja altura.

¹⁵ Árboles dispersos.

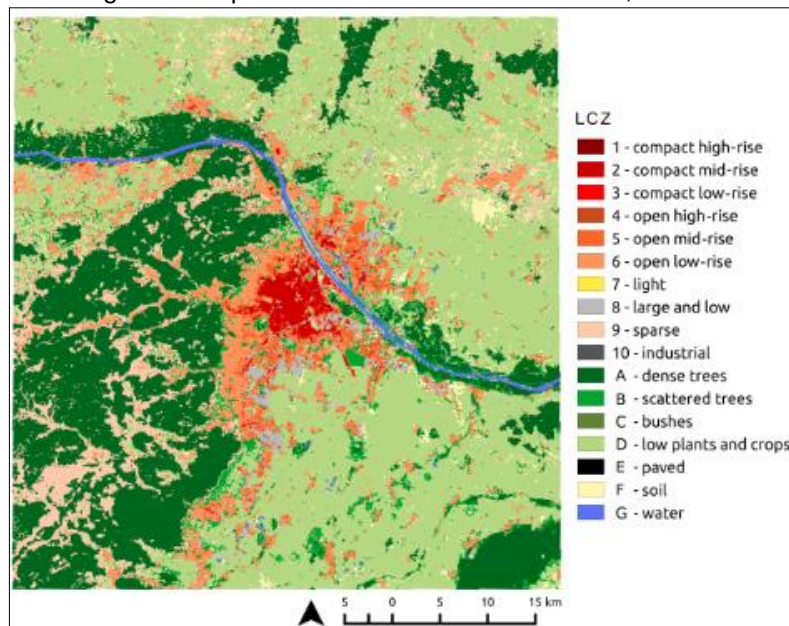
¹⁶ Plantas bajas y cultivos.

diferencia normalizada (NDVI), Proporción de vegetación (Pv), emisividad y Ts; además se realiza el cálculo de albedo de superficie, calor antropogénico y rugosidad del suelo; esta información es identificada en los prototipos más representativos de la clasificación LCZ y son geoprocesados a través del método de teledetección y geoestadística.

Con una estación meteorológica se mide la temperatura del aire en los prototipos LCZ más representativos, los días en que pasa el satélite de Landsat 8 por las ciudades del Ecuador, según el Instituto Espacial del Ecuador el satélite pasa cada 15 días, en el horario de 10h00 a 11h00, siendo esta información aplicada en la recolecta de datos.

En las 17 Local Climate Zone (LCZ) más representativas se realiza las mediciones simultaneas de temperatura del aire. Con el software QGIS a través del plugin thrjees¹⁷ se realiza la volumetría de las edificaciones existentes de esta manera se conseguirá identificar los elementos del cañón urbano, W/H/L en donde W se refiere a la dimensión entre edificios, H es la altura de los edificios y L es la profundidad. El mapa en 3D permite una mejor visualización de los elementos físicos que influyen en el clima urbano.

Figura 4: Mapa de LCZ de la Ciudad de Viena, Austria



Nota: (HAMMERBERG, BROUSSE, MARTILLI, MAHDAVI, 2018, p.3)

La clasificación Local Climate Zone (LCZ) tiene 10 prototipos de morfología urbana y 7 de cobertura de cobertura de superficie, para la clasificación LCZ de las ciudades del Ecuador, se utiliza la herramienta computacional SAGA GIS, con el método de la teledetección a través de la clasificación supervisada; se obtendrá un mapa colorido de 17 tipologías.

B.3. Resultados esperados e indicadores

En el primer objetivo, conocer el crecimiento urbano desde el año 1977 al 2021, la disminución del índice de vegetación urbana, se obtendrá un mapa de la evolución urbana de las ciudades Quito, Guayaquil y Cuenca.

¹⁷ Crea visualizaciones en 3D con geodatos. (Anita Graser aka Underdark, 2014)

En el segundo objetivo, clasificar en Local Climate Zone (LCZ) las ciudades del Ecuador utilizando la herramienta computacional SAGA GIS¹⁸ y la técnica Teledetección, se obtendrá un mapa de la clasificación de la morfología urbana de las ciudades del Ecuador. El tercer objetivo, calcular en cada una de las LCZ de las ciudades del Ecuador a través de Qgis con su complemento UMEP, el Factor de visión al cielo, cañón urbano, porcentaje de área de construcción, porcentaje de superficie impermeable, porcentaje de superficie permeable, altura de la rugosidad de elementos, clasificación de la rugosidad del suelo, temperatura superficial, radiancia espectral, temperatura de brillo, índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), Proporción de vegetación (Pv), emisividad, admitancia de la superficie y calor antropogénico con la técnica de la teledetección, con estos cálculos y mapas obtendremos la medición de la isla de calor urbano de las ciudades del Ecuador, expresado a través de mapas.

Además, los resultados son tres mapas, el primero corresponde a la clasificación LCZ, el segundo a la temperatura de la superficie y el tercero a la temperatura superficial. Se aplica la validación a través de una matriz de confusión para conocer la índice kappa.

B.4. Alcance o Cobertura de Ejecución del Proyecto (Seleccione únicamente un tipo de cobertura)

Coloque una "X" en el cuadro de la derecha según corresponda.

	Internacional	
	Nacional	x
	Provincial	
	Local	

B.5. Vinculación con la Comunidad.

El modelo educativo, pedagógico y curricular UTI 2019, nos permite alinear el proyecto planteado al fortaleciendo, el emprendimiento, mejora de la calidad de vida y la sostenibilidad ambiental.

Como docentes investigadores nos enfocamos en cumplir funciones sustantivas correlacionando la docencia, investigación, vinculación con la sociedad y gestión administrativa, a partir del desarrollo del talento humano en todos sus actores, articulando la tecnología y buscando ser, en sí misma, una sociedad del conocimiento (Lara et al., 2019).

Además, aporta desde la academia al cumplimiento de los objetivos del milenio, específicamente el 11, Ciudades y comunidades sostenibles, esta investigación es la base científica para elaborar políticas urbanas en los municipios de las ciudades escogidas.

B.6. Plan de publicaciones:

¹⁸ SAGA GIS, es la abreviación de System for Automated Geoscientific Analyses and Geographic Information System.

NOMBRE TENTATIVO DE LA PUBLICACIÓN /PATENTE	NOMBRE TENTATIVO DE REVISTA /EDITORIAL	NOMBRE DE LA BASE DE INDEXACIÓN DE LA REVISTA	SJR /IMPACT FACTOR Y CUARTIL DE LA REVISTA	MES DE ENVÍO
EVOLUCIÓN URBANA EN LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS DE LAS CIUDADES DEL ECUADOR	Nature Reviews Materials	Springer Nature	32.011 /Q1	jul-21
CLASIFICACIÓN LOCAL CLIMATE ZONE DE LAS CIUDADES DEL ECUADOR	Nature Energy	Springer Nature	19.733 /Q1	jul-21
MEDICIÓN DE LAS ISLAS DE CALOR URBANO DE LAS CIUDADES DEL ECUADOR	Nature Materials	Springer Nature	14.344 /Q1	jul-21

B.7. Cronograma

Actividades	MESES 2021											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic
Revisión bibliográfica												
Objetivo 1 / Ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca. Se analiza el crecimiento urbano de las ciudades del Ecuador en los últimos 33 años, crecimiento poblacional, morfología urbana, NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada) con la herramienta SAGA GIS y la técnica de la teledetección.												
Objetivo 2 / Forma urbana y Local Climate Zone. Valoración geométrica y de cobertura de superficie, para ello se obtiene porcentaje de área de construcción, porcentaje de superficie impermeable, porcentaje de superficie permeable, altura de la rugosidad de elementos, clasificación de la rugosidad del suelo.												
Objetivo 3/ Clima urbano. Calculo de temperatura de la superficie y temeperatura del aire.												
Análisis, discusión resultados y conclusiones												

B.8. Literatura citada

- Anita Graser aka Underdark. (2014). *3D viz with QGIS & three.js*.
<https://anitagraser.com/2014/03/15/3d-viz-with-qgis-three-js/>
- Economist Intelligence Unit. (2009). European Green City Index. *Munich: Siemens AG*, 51.
<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:European+Green+City+Index#0>
- Fredrik Lindberg, Ting Sun, Sue Grimmond, Y. T. (2018). *UMEP tutorial*.
<https://umep-docs.readthedocs.io/en/latest/Introduction.html>
- GRIMMOND, S. (2007). Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. *The Geographical Journal*, 173(1), 83–88.
https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2007.232_3.x
- HABITAT, O. (2011). *ONU HABITAT*. <https://es.unhabitat.org/temas-urbanos/cambio-climatico/>
- Hammerberg, K., Brousse, O., Martilli, A., & Mahdavi, A. (2018). Implications of employing detailed urban canopy parameters for mesoscale climate modelling: a comparison between WUDAPT and GIS databases over Vienna, Austria. *International Journal of Climatology*, 38, e1241–e1257.
<https://doi.org/10.1002/joc.5447>
- INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR URBAN CLIMATE. (2004). *IAUC Newsletter*. 19. <http://www.urban-climate.org/>
- Landsberg, H. E. (1981). *The Urban Climate* (A. Press (ed.)).
- READING, U. O. (2020). *Urban Micromet London Urban Meteorological Observatory*.
<http://micromet.reading.ac.uk/people/>
- Ren, C., Ng, E., Mills, G., Ching, J., Bechtel, B., See, L., Masson, V., Feddema, J., Aliaga, D. G., Batty, M., Al-hafiz, B., Rodler, A., Guernouti, S., Musy, M., Bouyer, J., Plumejeaud-perreau, C., Poitevin, C., Plumejeaud-perreau, C., Poitevin, C., ... A, H. A. (2015). WUDAPT Global Initiative : Census of Global Cities I Background and Challenges II The Urban Data Gap. *ICUC9, Toulouse, France (20-24 July)*, 168(Level 0), 19–34. <https://doi.org/10.1068/b32143>
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900.
<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- UMEP. (2016). *Urban Multi-scale Environmental Predictor – getting started*.
http://www.met.reading.ac.uk/umep/docs/UMEP_get_started.pdf

C. PRESUPUESTO

- **Monto total:** USD \$ 15575,12
- **Monto solicitado:** USD \$ 4850,00

C.1. Presupuesto valorado

RUBROS VALORADOS

Ítem	Valor Unitario	Valor Total	Observaciones
Coordinador	15,96	7660,80	(10 horas en la semana)
Docente de apoyo 1	15,96	3064,32	(4 horas en la semana)
Total, USD \$		10725.12	

C.2. Presupuesto solicitado

Los rubros solicitados deben clasificarse de acuerdo a las categorías presupuestarias definidas por el Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIESE):

Recursos humanos / Remuneraciones otro personal (externo a la UTI)
Equipos
Insumos
Consultorías
Gastos movilización

Adicionalmente, debe indicarse un cronograma tentativo de desembolsos, para facilitar la administración de fondos por parte de la Coordinación Financiera de la UTI, para lo cual debe tomar en cuenta los porcentajes que se puede ejecutar en cada rubro. Ver Tabla.

Detallar los rubros solicitado y el mes de requerimiento presupuestario.

Item o actividad	Desembolsos mensuales 2021												Valor total	Observaciones
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
Recursos humanos (Remuneraciones otro personal)														
Capacitación de investigación													0,00	
Insumos y materiales		150,00					100,00						250,00	Imprenta y papelería
Transporte y movilización		75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00						450,00	Movilización a las ciudades cercanas a Ambato
Hospedaje y atenciones sociales		150,00	150,00	150,00	150,00	150,00							750,00	Adquisición de software y calibración de equipos compra de
Publicaciones							900,00	600,00		600,00			2100,00	Publicaciones de artículos científicos, e-book, videos
Equipo de laboratorio		300,00	200,00	200,00									700,00	Adquisición de software y calibración de equipos compra de imágenes satelitales
Ponencias y congresos				200,00	200,00	200,00							600,00	Participaciones en congresos como expositoras, dos docentes.
Total, USD \$													4850	

(C.1) Total Monto Valorado, USD \$	10725,12
(C.2) Total Monto Solicitado, USD \$	4850,00
(C.1+C.2) Monto Total del proyecto, USD \$	15575,12

D. FIRMAS Y SELLOS DE RESPONSABILIDAD Y AVAL

Ambato, 30 de Noviembre 2021

Arq. Paola Maigua López
COORDINADOR DEL PROYECTO

Ambato, 30 de Noviembre 2021

Arq. Fabricio Amancha
Decano Facultad FAAD