



**Impacto Del Arbolado Urbano Sobre Las Islas De Calor En La Localidad De Riomar De  
La Ciudad De Barranquilla.**

**Fiorella Andrea Folgoso Carrascal  
Manuel Alejandro De La Ossa Suarez**

**Corporación Universitaria Reformada**

**Facultad de Ingeniería Ambiental por ciclos propedéuticos de tecnología en desarrollo  
ambiental y sostenible**

**Barranquilla-Atlántico**

**2024**

**Impacto Del Arbolado Urbano Sobre Las Islas De Calor En La Localidad De Riomar De  
La Ciudad De Barranquilla.**

**Fiorella Andrea Folgoso Carrascal**

**Manuel Alejandro De La Ossa Suarez**

Investigación presentada como requisito para optar por el título de **Ingeniero Ambiental.**

**Tutora:**

**Martha Mendoza Hernández**

**Cotutora:**

**Margarita Castillo Ramírez**

**Corporación Universitaria Reformada**

**Departamento de Ingeniería**

**Barranquilla – Atlántico**

**2024**

## **Agradecimientos**

Agradezco principalmente a Dios por guiarme durante todo este proceso, dándome la sabiduría, fortaleza, paciencia y perseverancia para culminar esta linda etapa.

A mi madre Sandra Carrascal Marchena, por ser mi pilar fundamental. Gracias por tu amor, tu entrega, por enseñarme a nunca rendirme y perseguir los sueños, por darme esa voz de aliento cuando más la necesitaba y por siempre confiar en mí y a mi familia por su constante apoyo.

A mi compañero de tesis Manuel De La Ossa por su apoyo, compromiso y disciplina, para poder llevar a cabo este logro.

A mis amigas por creer en mí, por sus consejos y por siempre estar en los momentos que más las necesito, su presencia en mi vida siempre será un valioso regalo.

Y por su puesto a mis queridas profesoras Martha Mendoza, Margarita Castillo y Sofia Sulbarán. Gracias por su dedicación, entrega y compromiso, gracias por siempre sacar lo mejor de nosotros y depositar su confianza, gracias por su sabiduría y conocimiento sin ustedes este logro no habría sido posible. Su pasión por lo que hacen siempre se vio reflejada en cada clase, que afortunados fuimos de compartir estos momentos con ustedes.

***Fiorella Andrea Folgoso Carrascal.***

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, a mi familia, especialmente a mis padres, Sandra Milena Suárez y Manuel Fernando De La Ossa por su amor incondicional y apoyo constante. Gracias por ser mi fuente de motivación en cada paso del camino. A mis hermanos Marcos Alfonso De La Ossa y Santiago De La Ossa, y mis abuelos, por su aliento y cariño en los momentos difíciles.

A mi compañera de tesis Fiorella Folgoso, por su compromiso y responsabilidad, siendo mi red de apoyo en los momentos de estrés y alegría. Su amistad hizo este proceso mucho más llevadero.

También un agradecimiento especial a las profesoras Martha Mendoza, Margarita Castillo y Sofia Sulbaran, por su valiosa orientación, paciencia y confianza, que fueron esenciales para la realización de este trabajo.

A la Unireformada y EPA Barranquilla Verde, por brindarme las oportunidades y el apoyo necesario para llevar a cabo esta tesis. Estoy muy agradecido por el ambiente académico que me ofrecieron. Finalmente, agradezco a todos los colegas y colaboradores que contribuyeron en la recopilación de datos, revisión de mi trabajo y en la entrega de sus valiosos comentarios. Esta tesis no habría sido posible sin su colaboración.

**Manuel Alejandro De La Ossa Suárez.**

## Contenido

---

Agradecimientos .....	3
Contenido .....	5
Resumen .....	8
Abstract.....	9
1. Introducción .....	10
2. Planteamiento Del Problema.....	13
3. Justificación.....	15
4. Objetivos .....	18
4.1. Objetivo General .....	18
4.2. Objetivos Específicos .....	18
5. Marco referencial .....	19
5.1. Marco Conceptual .....	19
5.1.2. Modos de transmisión del calor .....	22
5.1.3. Arbolado Urbano.....	23
5.1.4. Biodiversidad Urbana.....	25
5.1.5. Servicio Ecosistémico De Regulación .....	28
5.1.6. Interacción Entre Arbolado, Servicios Ecosistémicos Y Material Particulado..	28
5.1.7. Capacidad De Remoción De Contaminantes Del Arbolado urbano .....	29

5.1.8. Estaciones Meteorológicas .....	30
5.2. Marco Legal .....	33
5.3. Estado Del Arte .....	35
6. Metodología .....	42
6.1. Población y muestra .....	42
6.2. Identificar las áreas de mayor concentración de islas de calor mediante monitoreos in situ. 46	
6.4. Diseñar estrategias basadas en la biodiversidad urbana para mitigar las islas de calor en la localidad Riomar.....	48
7. Resultado Y Discusión .....	48
7.1. Área de estudio.....	48
7.2. Identificación de la concentración de islas de calor en Riomar de Barranquilla .....	50
7.3. Evaluar el impacto del arbolado urbano en la reducción de las islas de calor en la localidad de Riomar .....	56
7.4. Diseñar estrategias basadas en la biodiversidad urbana para mitigar las islas de calor en la localidad Riomar.....	59
8. Conclusiones y Recomendaciones .....	62
Bibliografía.....	64

## **Listado de Tablas**

<b>Tabla 1.</b> ....	45
<b>Tabla 2.</b> ....	49
<b>Tabla 3.</b> ....	52
<b>Tabla 4.</b> ....	53
<b>Tabla 5.</b> ....	54

## **Listado de Gráficos**

<b>Gráfica 1.</b> ....	52
<b>Gráfica 2.</b> ....	53
<b>Gráfica 3.</b> ....	55

## **Listado de Figuras**

<b>Figura. 1.</b> ....	20
<b>Figura. 2.</b> ....	43
<b>Figura. 3.</b> ....	47
<b>Figura. 4.</b> ....	49
<b>Figura. 5.</b> ....	57
<b>Figura. 6.</b> ....	58

## Resumen

El estudio de islas de calor urbanas en la localidad de Riomar, Barranquilla, reveló altas concentraciones de temperatura alrededor del mediodía, alcanzando un máximo de 30.7°C el 10 de noviembre a las 12:00 p.m. Estos picos coinciden con el historial climático de la ciudad, donde las horas cercanas al mediodía presentan mayor incidencia solar. Condiciones de baja humedad (28.65%) y vientos leves (1.07 m/s) a lo que se asocia que las para esas fechas se intensifico el calor urbano.

El arbolado urbano para esa localidad se puede resaltar que las especies Mango (*Mangifera indica*) y Roble Morado (*Tabebuia rosea*), cubriendo un 15.80% y 13.10% y la cual se asoció a la literatura que suelen ser una solución basada en la naturaleza para la mitigación del cambio climático y a su vez permitiendo la generación de sombra y enfriamiento de la localidad de Riomar de la ciudad de Barranquilla.

Por otro lado, el análisis sugiere que las estrategias de biodiversidad como la creación de corredores verdes y la plantación de árboles de gran porte pueden reducir significativamente las temperaturas en zonas urbanas densas. La implementación de estos espacios verdes ayuda a disminuir el impacto del calor extremo, mejorando el confort térmico y la calidad de vida de los habitantes.

**Palabras Claves:** Islas de calor urbano, Arbolado Urbano, Biodiversidad, estrategias, Soluciones basadas en la naturaleza, Riomar.

## **Abstract**

The study of urban heat islands in the town of Riomar, Barranquilla, revealed high concentrations of temperature around noon, reaching a maximum of 30.7 ° C on November 10 at 12:00 p.m. These peaks coincide with the climatic history of the city, where the hours close to noon present greater solar incidence. Conditions of low humidity (28.65%) and light winds (1.07 m / s) to which it is associated that for those dates the urban heat intensified on that date.

The urban trees for that locality can be highlighted as the Mango (*Mangifera indica*) and Purple Oak (*Tabebuia rosea*) species, covering 15.80% and 13.10% and which was associated with the literature that they are usually a nature-based solution for mitigating climate change and in turn allowing the generation of shade and cooling of the town of Riomar in the city of Barranquilla.

On the other hand, the analysis suggests that biodiversity strategies such as the creation of green corridors and the planting of large trees can significantly reduce temperatures in dense urban areas. The implementation of these green spaces helps to reduce the impact of extreme heat, improving thermal comfort and the quality of life of inhabitants.

**Key Words:** Urban heat islands, Urban trees, Biodiversity, strategies, Nature-based solutions, Riomar.

## 1. Introducción

El fenómeno de las islas de calor urbanas (ICU) es uno de los desafíos ambientales más importantes en las ciudades modernas, especialmente en áreas con alta densidad de población y desarrollo urbano intenso. Las islas de calor se caracterizan por una elevación de la temperatura en zonas urbanizadas en comparación con áreas rurales o menos desarrolladas. No obstante, la ciudad de Barranquilla por su ubicación geográfica y cercanías al mar caribe suele presentar temperaturas altas.

Este aumento de temperatura se debe principalmente a la sustitución de superficies naturales por concreto, asfalto y otros materiales que absorben y retienen calor, así como a la actividad humana que genera calor, como el uso de vehículos, edificios y maquinaria industrial (Oke, 1982), esto no solo tienen efectos ambientales, sino también sociales, económicos y de salud pública, por lo que se incrementan la demanda de energía para enfriar espacios interiores, ocasionado afecciones en la calidad del aire y aumentan el riesgo de problemas de salud relacionados con el calor (Santamouris, 2015).

El arbolado urbano surge como una estrategia fundamental para mitigar el efecto de las islas de calor en las ciudades. Los árboles y otras áreas verdes ayudan a moderar las temperaturas urbanas mediante la provisión de sombra, la transpiración de las plantas y la reducción de la radiación solar que llega a las superficies de concreto y asfalto (Bowler, 2010), no obstante, los árboles ofrecen múltiples beneficios adicionales, como la mejora de la calidad del aire, la reducción de la contaminación por olores, el embellecimiento del paisaje urbano y el aumento de la biodiversidad (Akbari, 2001). Sin embargo, para que sea realmente efectivo en la mitigación de las islas de calor urbano, es necesario que esté planificado de manera estratégica, tomando en cuenta la densidad, el tipo y la ubicación de los árboles, así como las condiciones climáticas y la infraestructura de cada área urbana.

Los árboles actúan como reguladores térmicos naturales debido a varias de sus propiedades biológicas y físicas, por lo que crean sombras sobre las superficies urbanas, reduciendo la cantidad de radiación solar directa que llega al suelo, aceras, edificios y calles (Bowler, 2010). Este efecto disminuye la absorción de la gran cantidad de energía térmica y la irradiación al ambiente, evitando el aumento de las temperaturas (Akbari, 2001). La función que cumplen los árboles para que estos brinden la sensación y frescura del ambiente es que toman el agua del suelo y la liberan en forma de vapor a través de sus hojas, lo que ayuda a enfriar el aire circundante, este fenómeno puede reducir las temperaturas locales en varios grados y, en conjunto con otros árboles y áreas verdes, generar una red de enfriamiento que puede ser altamente efectiva en ciudades grandes y pequeñas (Gago, 2013).

Estudios recientes destacan que el impacto positivo de utilizar los árboles como mecanismos va más allá de la reducción de temperatura, ya que el aumento de la vegetación puede mejorar la resiliencia de las ciudades frente a los efectos del cambio climático, como olas de calor más intensas y frecuentes (Santamouris, 2015). De hecho, el arbolado urbano contribuye a reducir la huella de carbono, ya que los árboles almacenan dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en su estructura, un gas que, si se libera a la atmósfera, contribuye al calentamiento global. En este sentido, el arbolado no solo mitiga el impacto local de las islas de calor, sino que también se convierte en una estrategia de sostenibilidad urbana de largo plazo (Akbari, 2001).

Sin embargo, la elección de especies de árboles adecuadas es crucial, ya que no todos los tipos de árboles son efectivos para reducir las temperaturas urbanas de la misma manera (Bowler, 2010). Algunas especies tienen una frondosidad más densa, mientras que otras requieren más agua o condiciones climáticas de cada ciudad. Por tanto, el impacto del arbolado sobre las islas de calor depende en gran medida de un diseño cuidadoso y adaptado a cada contexto urbano.

Actualmente en la ciudad de Barranquilla solo se cuenta con un diagnóstico del arbolado urbano en la localidad Riomar realizado por el Establecimiento Público Ambiental Barranquilla Verde para el año 2019, por lo cual se enfatizó en esa localidad, analizando como sería el impacto por calor en esta área de la ciudad, dando así, como un análisis más amplio de utilizar los árboles como una solución natural y sostenible para mitigar el fenómeno de las islas de calor en esta localidad y que se convierte a la vez una estrategia clave en la planificación y gestión urbana.

## 2. Planteamiento Del Problema

El cambio climático es un tema que cada día genera gran preocupación por lo grandes cambios de aceleramiento que ha venido teniendo en especial con los fenómenos naturales que cada día se han identificado y sus tiempos de periodos se han prolongado. Según la (EPA, 2024) millones de personas que viven en ciudades y en sus alrededores experimentan temperaturas más altas que las de las áreas naturales circundantes.

Estas “islas de calor” urbanas aumentan la demanda de energía para alimentar los sistemas de aire acondicionado, aumentan los niveles de contaminación en el aire y pueden causar enfermedades relacionadas con el calor e incluso la muerte. A medida que las temperaturas continúan aumentando a causa del cambio climático, es más probable que las áreas urbanas experimenten olas de calor más frecuentes, más intensas y prolongadas.

Afortunadamente, hay medidas comprobadas que las comunidades pueden tomar hoy mismo para mantenerse frescas en el futuro

exacerbando las temperaturas extremas, es fundamental que las ciudades prioricen la creación y el mantenimiento de espacios verdes, ya que estos no solo benefician a la generación actual, sino que también constituyen una inversión en la sostenibilidad y habitabilidad de las ciudades para las generaciones futuras. La correcta integración del arbolado urbano en las políticas ambientales y de desarrollo urbano puede marcar una diferencia significativa en la lucha contra el calor extremo y en la creación de entornos urbanos más resilientes, saludables y agradables para todos (Oke, 1982).

La localidad de Riomar, situada en la ciudad de Barranquilla, Colombia, enfrenta desafíos significativos relacionados con el cambio climático y el desarrollo urbano acelerado. Uno de los principales problemas derivados de estos factores es la formación de islas de calor urbano (ICU). Las islas de calor urbano son áreas urbanizadas que experimentan temperaturas notablemente

más altas que sus entornos rurales o menos desarrollados, debido a la alta densidad de infraestructuras, pavimentos y edificaciones que absorben y retienen el calor. (Idrobo & Hernandez, 2009 )

Es por ello por lo que la localidad de Riomar, Barranquilla, la implementación de estrategias para promover la biodiversidad urbana ha sido una prioridad en el ámbito gubernamental. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos por convertirse en una biodiver-ciudad, persisten áreas con una escasa arborización. Esto ha generado la formación de Islas de Calor, fenómeno que no solo afecta la calidad de vida de los residentes, sino que también representa un desafío para la sostenibilidad ambiental y la salud del ecosistema urbano.

Por lo tanto, abordar las islas de calor urbano a través de la biodiversidad urbana no solo contribuirá a mitigar los efectos del cambio climático en Riomar, sino que también mejorará la salud pública, reducirá el consumo energético y promoverá un entorno urbano más sostenible y habitable. Este estudio proporcionará una base para la implementación de políticas efectivas y soluciones innovadoras que puedan ser replicadas en otras áreas urbanas de Barranquilla y más allá.

¿Cuál es el impacto del arbolado urbano en la reducción de las temperaturas relacionadas con el fenómeno de islas de calor en el barrio Riomar de la ciudad de Barranquilla?

### 3. Justificación

La localidad de Riomar ubicada en la ciudad de Barranquilla, Colombia, enfrenta desafíos crecientes debido a la urbanización acelerada que ha presentado en los últimos años y las condiciones de vivienda a causa del aceleramiento que ha causado el cambio climático.

Uno de los problemas más relevantes en ciudades que cada día aumentan sus condiciones de vivienda, personas, actividades económicas, entre otras, es la formación de islas de calor urbano (ICU), que resulta un fenómeno de altas temperaturas significativamente más altas en áreas urbanizadas en comparación con sus entornos rurales o menos desarrollados.

Este aumento de temperatura se deriva de la alta densidad de infraestructuras y superficies pavimentadas que absorben y retienen el calor, tiene consecuencias negativas tanto para el medio ambiente como para la salud pública y la calidad de vida de los residentes.

En el marco de cambio climático en el que vivimos en la actualidad, las ciudades deben transformarse a través de su diseño y organización más sostenibles que sean capaces de disminuir los efectos como el aumento de la temperatura en áreas urbanas, en especial sobre los aspectos de la elección de materiales que permitan al mismo tiempo dar una solución arquitectónica y bioclimática.

Todo lo anterior se asocia al albedo que es la propiedad que tiene cualquier cuerpo de reflejar una radiación incidente. (Andalucía, 2023), cuanto más claro es la superficie de un cuerpo, más capacidad de reflejar la radiación incidente y por tanto, mayor es su albedo. Aplicado a la superficie de la Tierra, cuanto más albedo, mayor energía refleja al espacio y menor temperatura retiene. (Andalucía, 2023).

Todo esto, aumenta las condiciones de las ICU y hace que muchos de los contaminantes que encontramos en la atmósfera como los óxidos nitrosos (NOx), ozono troposférico (O3), los cuales se encuentran con frecuencia en la atmósfera que en muchas ocasiones son producidos también

por combustión a alta temperatura, y también por lo que se produce bajo la acción de los rayos solares principalmente en los meses más calurosos y en las horas de mayor soleamiento. (Tumini, 2020) que aumentan su concentración.

La identificación de los impactos ambientales a causa de las islas de calor urbano, sobre la localidad de Riomar permitirá analizar como son los registros de las temperaturas en esta zona de la ciudad de Barranquilla. Este estudio busca confirmar que existen estrategias para mitigar y reducir los efectos de las ICU a través del arbolado urbano, donde la reducción de las temperaturas locales ayuda en la mejorar la calidad del aire.

El arbolado urbano entra dentro de esas estrategias que son las soluciones basadas en la naturaleza, como uno de los ejes que con mayor frecuencia solemos utilizar para buscar esas alternativas a nivel de ciudad que vayan armónicamente sintonizadas con el medio ambiente, por lo que son acciones o políticas que aprovechan el poder de la naturaleza para abordar algunos de nuestros desafíos sociales más urgentes, como lo pueden ser el incremento de temperatura en ciudades.

Estas soluciones implican proteger, restaurar y gestionar de manera sostenible los ecosistemas, de manera que aumenten su resiliencia y capacidad para abordar esos desafíos sociales y al mismo tiempo que protejan la biodiversidad y mejoren el bienestar humano.

El arbolado urbano es uno de los elementos de planificación que permite la adaptación y mitigación ante los efectos que se están teniendo a causa del cambio climático. Estos permiten colaborar en la reducción de efecto de islas de calor, absorción de CO<sub>2</sub>, mejoría en la retención de aguas lluvias y permiten aportar a la reducción todos estos efectos mencionados anteriormente.

No obstante, estas soluciones nos ayudan a aportar en la reducción de la contaminación atmosférica, como lo suele ser la captación del material particulado, y a su vez favorecer la restauración del hábitat y la biodiversidad local. Adicional estas estrategias aportan a la integración social y el bienestar, ya que, acercar la naturaleza a las personas permite reducir el estrés, la ansiedad y los efectos de patologías psicológicas y psiquiátricas.

Los hallazgos servirán como base para la planificación urbana sostenible, teniendo en cuenta que sería la primera investigación del distrito de Barranquilla en estudiar, analizar y promover soluciones a las problemáticas de las ICU.

La implementación de estas estrategias no solo contribuirá a mitigar los efectos de las islas de calor urbano en Riomar, sino que también mejorará significativamente la calidad de vida de sus habitantes. Al abordar el problema mediante soluciones basadas en la naturaleza, se promueve un entorno urbano más sostenible y habitable, se protege la salud pública y se reducen los costos asociados al consumo energético.

## **4. Objetivos**

### **4.1. Objetivo General**

- Analizar el impacto del arbolado urbano sobre las islas de calor en la localidad de Riomar de la ciudad de Barranquilla.

### **4.2. Objetivos Específicos**

- Identificar las áreas de mayor concentración de islas de calor en Riomar de Barranquilla mediante monitoreos in situ.
- Evaluar el impacto del arbolado urbano en la reducción de las islas de calor en la localidad de Riomar.
- Diseñar estrategias basadas en la biodiversidad urbana para mitigar las islas de calor en la localidad Riomar.

## **5. Marco referencial**

### **5.1.Marco Conceptual**

El presente marco conceptual establece los conceptos fundamentales y las teorías que sustentan el estudio de las islas de calor urbanas, el impacto del arbolado urbano, y la biodiversidad en la mitigación del calor. Se aborda el fenómeno de las islas de calor, sus causas (como la urbanización y el uso de materiales de alta absorción térmica), y sus efectos en el clima y la salud de los habitantes. Asimismo, se desarrollan los conceptos de infraestructura verde y biodiversidad urbana como herramientas para la regulación de temperatura en áreas urbanas. Este marco ofrece una base conceptual para entender la importancia de la vegetación en la reducción de las temperaturas urbanas y el rol de la planificación ecológica en la resiliencia climática.

#### **5.1.1. Islas de Calor Urbanas (ICU)**

El termino ICU es utilizado para describir el incremento de temperatura, superficial y atmosférica, yendo de la mano con el progreso urbanístico. También aumentan exponencialmente el consumo de energía, la contaminación atmosférica, la contaminación térmica de cuerpos de agua y acorta la calidad de vida de la población aledaña. (Soto, Engelberth, 2018)

Los factores para que estas ICU se desarrollen son principalmente las superficies de cemento y asfalto, reducción de áreas verdes, actividad industrial y tráfico vehicular.

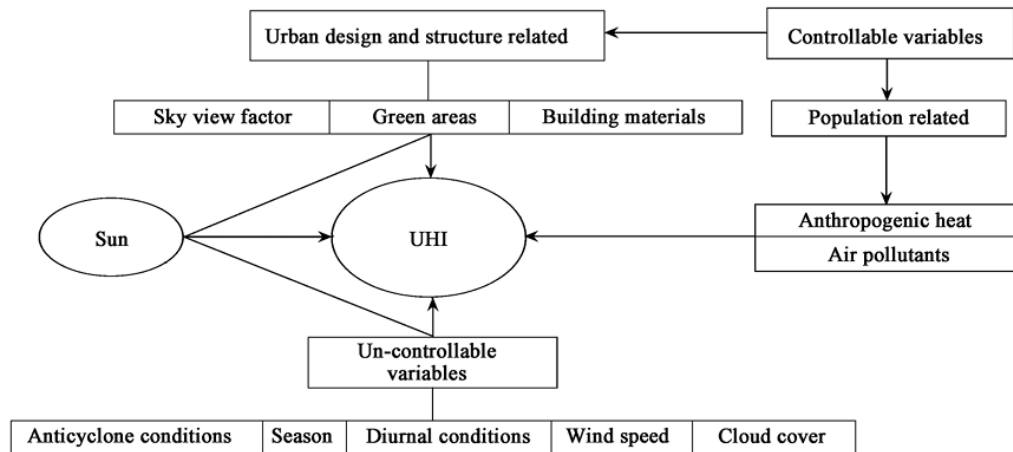
Según la evidencia científica, las repercusiones ambientales y salud pública por las ICU provocan un impacto negativo en los ecosistemas y el clima local. También las ICU incrementan la ocurrencia de enfermedades relacionadas con las altas temperaturas, como dificultades respiratorias e insolación. (Soto, Engelberth, 2018)

Las islas de calor urbana es la respuesta a muchos de los factores de los cuales pueden ser catalogados como controlables e incontrolables. (Coral, 2013). A estos factores pueden ser

clasificados como temporales en el tiempo como, por ejemplo: la velocidad del viento o la cobertura de las nubes, variables de zonas verdes, tipo de material de las edificaciones y el factor de visión del cielo, como también otros factores antropogénicos. (Rizwan A., 2008).

**Figura. 1.**

Esquema de Variables controlables y no controlables en la generación de las islas de calor urbana.



Fuente: (Rizwan A., 2008).

La contaminación del aire y los altos índices de ozono también son causas de un aumento de las ICU, por lo que las partículas de los aerosoles que son abundantes en los cascos urbanos pueden absorber y emitir la radiación de onda larga, limitando la captación de radiación directa en las estructuras urbanas y generando un efecto invernadero en las ciudades. (Coral, 2013).

También existen algunas variables temporales en cuestión de las condiciones climáticas que incrementan los ICU, como bien mencionado la velocidad del viento, cobertura de las nubes los cuales se encuentran relacionados con la elevación del ICU. (Kim Y., 2005).

Las islas de calor urbana varían a lo largo del día, donde pueden llegar a alcanzar su máximo efecto pocas horas después de la puesta del sol. Esto es debido a que la energía absorbida por las superficies urbana es liberada lentamente en comparación con las superficies

rurales. (Coral, 2013). No obstante, varios autores han comentado que los diferentes valores del efecto ICU, están asociados a una razón de ( $\Delta T_{\text{urbano-rural}}$ ). No obstante, se comenta que un valor razonable del efecto ICU se encuentra asociado entre 5-8°C, (Lemonsu, 2002), sin embargo, según (Klysik K., 1999), comenta que ( $\Delta T_{\text{urbano-rural}}$ ) superior a los 12°C. que es razonable tener un efecto ICU, claro está que ambos autores hacen referencia que la ubicación geográfica puede alterar estas temperaturas.

Sin embargo, hay otros conceptos como el de la (EPA, 2024) que comenta que la expresión “isla de calor” describe áreas urbanas de muchas construcciones que son más calientes que las áreas rurales cercanas. La temperatura media anual del aire en una ciudad de 1 millón de personas o más puede ser de 2 a 22 °F (1 a 12 °C) más elevada que en las áreas rurales circundantes.

Las islas de calor pueden afectar las comunidades especialmente durante el verano al aumentar la demanda de energía, los costos del aire acondicionado, la contaminación del aire, y las emisiones de gases de efecto invernadero. El efecto isla de calor también puede producir más enfermedades y mortalidad relacionadas al calor, y a la misma vez, afectar adversamente la calidad del agua. (EPA, 2024).

Si bien las áreas urbanas son más cálidas que las áreas rurales circundantes, el efecto de isla de calor urbano ha tenido poco o ningún efecto en el calentamiento de nuestro mundo porque los científicos lo han tenido en cuenta en sus mediciones.

Las islas de calor urbanas no son un fenómeno recién descubierto. Usando simples termómetros de mercurio, los meteorólogos han notado durante unos dos siglos que las ciudades tienden a ser más cálidas que las áreas rurales circundantes.

Asimismo, los investigadores han notado durante mucho tiempo que la magnitud de las islas de calor puede variar significativamente entre ciudades. Sin embargo, pueden filtrar esos efectos de las tendencias a largo plazo. En general, el efecto isla de calor urbano no ha contribuido mucho al calentamiento de nuestro mundo. Otras actividades humanas, principalmente la quema de combustibles fósiles, son las principales culpables.

### **5.1.2. Modos de transmisión del calor**

Isla de calor urbana (ICU) se refiere a las temperaturas elevadas que se presentan en el área urbana y suburbana de la ciudad, en comparación con las temperaturas de los alrededores o periferia. (EPA, 2022). Los principales factores causantes de este fenómeno pueden deberse a diversas causas, como:

1. El almacenamiento del calor, debido a las propiedades o características térmicas de los materiales de construcción utilizadas en las calles, banquetas y edificios. (Gálvez, 2022)
2. La geometría de las ciudades, donde el arreglo de las calles y edificios propicia que la radiación solar incidente se refleje en paredes, fachadas, tejados y suelos; gran parte de esta radiación se almacena, lo que altera el equilibrio en el intercambio de calor en el entorno urbano construido, afectando patrones de soleamiento y viento, que da como resultado un aumento de la temperatura del aire. (Gálvez, 2022)
3. El cambio de uso de suelo y reducción de área verde, donde la sustitución de la superficie natural original por un suelo asfaltado, concreto o adoquín, provoca la disminución de la evaporación, por tanto, se afecta la humedad del aire, disminuyendo el

enfriamiento evaporativo del ambiente; además de que se afectan otros beneficios como la sombra producida por la vegetación. (Gálvez, 2022)

4. La contaminación atmosférica, la cual provoca que la radiación emitida del suelo (Albedo, entre otros) hacia la atmósfera choque con las partículas contaminantes en la atmósfera urbana, por lo que parte de esta radiación es absorbida y emitida de regreso por dicha capa, fomentando un efecto invernadero local en las ciudades. (Gálvez, 2022).

5. Las actividades antropogénicas que generan calor procedente de diferentes actividades y procesos de combustión como el transporte, los equipos de aire acondicionado, alumbrado público, etc. (Gálvez, 2022)

### **5.1.3. Arbolado Urbano**

Es el conjunto de plantas y especies correspondientes a las diferentes clases de vegetación, cómo: árbol, arbusto, palma o helecho arborescente, ubicados en urbanizaciones o ciudades principales.

Este conjunto de vegetación contribuye de manera positiva al ecosistema donde se encuentra y adicionalmente a reducir el efecto de las islas de calor, mediante sombra y evapotranspiración. (Tovar, 2017)

También hay que tener en cuenta la calidad y el tipo de especie arbórea que se quiera implementar para estas prácticas, puesto que depende mucho la ubicación geográfica y clima para el correcto desarrollo y aprovechamiento completo de esta práctica.

El árbol urbano aporta beneficios que aparte de los estéticos están siendo estudiados como una nueva manera de aumentar la Calidad de Vida. Son a estos beneficios a los que en este trabajo nos vamos a referir, de una manera objetiva y resumida, incorporando datos comparativos entre distintas investigaciones llevadas a cabo en distintos países. (Priego Gonzalez de Canales, 2002).

La vegetación urbana puede directa o indirectamente afectar a la calidad del aire a nivel local o regional. Las cuatro principales formas en las que el arbolado urbano afecta a la calidad de aire son: (Priego Gonzalez de Canales, 2002).

- Reducción de la temperatura y efectos microclimáticos.
- Disminución de los contaminantes atmosféricos.
- Emisión de compuestos orgánicos volátiles Efectos energéticos construcciones.

El árbol urbano es un elemento fundamental en el paisaje de una ciudad pues brinda diversos beneficios de orden ambiental, estético, paisajístico, recreativo, social y económico, los cuales son aprovechados de variadas formas por la población, la cual disfruta de su presencia y lo convierte en un elemento integrante del paisaje urbano, a tal punto que “se constituyen en uno de los indicadores de los aspectos vitales y socioculturales de las ciudades”. (Corzo, 2007).

Entre los beneficios más importantes que proveen los árboles en el ambiente urbano se pueden considerar los siguientes: Control de contaminación: los árboles contribuyen a disminuir la contaminación de todo tipo presente en las ciudades. Ciertas especies pueden absorber contaminantes del aire como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que representa casi la mitad del peso total de los contaminantes emitidos a la atmósfera, así como también los dióxidos de azufre y nitrógeno (SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>) compuestos provenientes fundamentalmente por la combustión de fuentes móviles (vehículos). (Corzo, 2007).

Las partículas suspendidas pueden ser reducidas por la presencia de árboles y arbustos, ya que éstos captan partículas como arena, polvo, ceniza, polen y humo. Las hojas, ramas, troncos y sus estructuras asociadas (como la pubescencia de las hojas), las partículas que más tarde serán lavadas por la precipitación.<sup>3</sup> A través de la transpiración los árboles incrementan la humedad,

que ayuda también a lavar el aire de partículas contaminantes; igualmente, contribuyen a enmascarar ciertos olores desagradables, reemplazándolos con aromas y fragancias desprendidos de su follaje y de sus flores. (Corzo, 2007).

#### **5.1.4. Biodiversidad Urbana**

Varias definiciones han ido surgiendo a través del tiempo sobre qué es la ecología. Para lograr una mayor comprensión de su campo de conocimiento, es, así interesante –y quizás también atractivo– recordar algunos hitos sobre su origen como disciplina y su creciente desarrollo. (Terradas, 2011).

Ello posibilita vislumbrar con mayor claridad la necesidad de su estudio y la importancia que fueron tomando los diversos temas que constituyeron sus investigaciones, y que, concretamente, han ido otorgándole su valor como disciplina en la comprensión, enfoque, y contribución a las posibles y diversas soluciones de los problemas ambientales. (Terradas, 2011).

La ecología se desarrolló al revés que otras disciplinas. Mientras la mayoría de ellas progresó a través de la paulatina diversificación de los objetos primarios del conocimiento, en la ecología se fueron combinando los conocimientos que –en un principio– eran componentes de diversos campos científicos, intentando formar con ellos un cuerpo unificado de doctrina, una ciencia de síntesis. (Terradas, 2011).

En el siglo XIX, se produjeron tres hitos sustanciales en el desarrollo de la ciencia moderna que proveyeron las bases a la Biología y a la Ecología. Estos hitos están ligados a la historia científica y a la política que transcurrían en el mundo. El primero ha sido el control del espacio en el planeta Tierra: en el marco del avance del poderío europeo se realizaron singulares expediciones científicas (las de los naturalistas como Humbolt, Bonpland y otros que recorrieron

el mundo) que permitieron conocer y asentar la distribución geográfica de los recursos naturales. (Terradas, 2011).

La Ecología Urbana ha sido limitado al análisis del metabolismo de las ciudades, centrado en el consumo de materiales y la producción de residuos. Este enfoque, aunque útil, no abarca la complejidad de las ciudades modernas, especialmente en un contexto de crecimiento poblacional sin precedentes.

Es crucial ampliar la perspectiva para reconocer que las ciudades no solo consumen, sino que también son generadoras de servicios ecosistémicos. Las áreas verdes, junto con las dinámicas sociales, juegan un papel fundamental en la gobernanza urbana y en la creación de territorios resilientes, impactando directamente en el bienestar de sus habitantes. (Gutiérrez & Benavides, 2022)

Se comprende por biodiversidad el resultado de la interacción de procesos ecológicos como la selección natural, la competencia y la especiación, y se pueden clasificar en diferentes niveles jerárquicos, desde individuos hasta especies. Esta organización refleja la complejidad de la vida en el planeta.

Adicionalmente procesos evolutivos y ecológicos que sustentan la biodiversidad son parte integral del concepto mismo. Para conservar especies y variedades, es crucial también proteger los procesos que las mantienen, lo que es esencial para una conservación efectiva, mediante un ambiente sano y protegido. (Fonseca, 2021)

El ecosistema urbano difiere sustancialmente de los biotopos naturales y seminaturales en varios aspectos fundamentales. La característica estructural que mejor define a las ciudades es la presencia de grupos de edificios separados entre sí por estructuras lineales asfaltadas, como son las calles y vías de comunicación. (Giménez, 2009).

Los parques y jardines constituyen islas de vegetación intercaladas entre las construcciones y cinturones periurbanos y presentan, a veces, una complejidad ecológica importante. Además, las ciudades poseen su propio microclima, ya que la temperatura es más elevada, entre 1,5°C y 5°C como media, que, en el territorio circundante, lo cual es consecuencia del calor que retienen los edificios y el pavimento durante las horas de insolación. (Giménez, 2009).

La velocidad del viento es, por término medio, un 15 % más reducida dentro de los núcleos urbanos que en los alrededores, debido al efecto pantalla que ejercen las moles de hormigón y ladrillo. Los cielos cubiertos son más frecuentes en las ciudades que en el medio natural que les rodea, así como las precipitaciones tienden a ser un 10% más elevadas. No obstante, la humedad relativa media anual es ligeramente más reducida en el seno de los cascos urbanos, en latitudes templadas y frías la persistencia de la nieve caída durante el invierno también es menor, mientras que la radiación solar se reduce en un 15-20 % como consecuencia del palio brumoso que con frecuencia flota en la atmósfera. (Giménez, 2009).

**Árboles.** Los árboles se destacan como las plantas leñosas más grandes, generalmente con una altura que supera los 5 metros. Se caracterizan por su tronco principal, del que surgen ramas cuando alcanzan cierta altura. Es relevante notar que los árboles no producen ramas desde el nivel del suelo, lo que constituye una distinción sencilla entre un árbol pequeño y un arbusto grande. Las ramas de los árboles también funcionan como sus tallos secundarios, entrelazándose para formar la copa del árbol de diversas maneras (Acosta, 2021).

**Inventario arbóreo.** El inventario forestal es una herramienta esencial para recopilar datos cualitativos y cuantitativos específicos sobre los ecosistemas forestales con el fin de facilitar la planificación, gestión, conservación y reforestación. Este proceso garantiza un nivel de precisión, exactitud y detalle requeridos. Un inventario forestal incluye variables como superficie,

ubicación, tipos de bosque presentes, estructura, calidad, condiciones, volumen, tamaño, composición, entre otros. Estos datos son la base de un informe detallado del inventario que incluye información sobre el margen de error y el nivel de detalle que se utilizará en el futuro (Bejarano, 2018).

#### **5.1.5. Servicio Ecosistémico De Regulación**

La regulación hace parte de los servicios ecosistémicos secundarios y recae sobre muchos medios naturales como el agua, el aire, el clima, y en la polinización y distribución de semillas. En todas las actividades de regulación, la cobertura vegetal es fundamental; en materia de regulación hídrica ayuda a la conformación de escorrentías superficiales, y en la absorción de enriquecer las aguas subterráneas; para el aire y el clima, una buena cobertura vegetal es protagónica en la captura y almacenamiento de carbono, en la remoción de contaminantes atmosféricos, en la producción de oxígeno, disminución de la irradiación y mantenimiento de la temperatura (Gomez, 2022).

#### **5.1.6. Interacción Entre Arbolado, Servicios Ecosistémicos Y Material Particulado**

La remoción de contaminantes atmosféricos es un servicio ecosistémico que brinda el arbolado urbano, este hace parte de los servicios secundarios encargados de la regulación, Este servicio en particular tiene un impacto notorio en la calidad de vida de las personas, ya que al tratarse del recurso aire, y el nivel de carga contaminantes en este, la salud pública es la que está comprometida. Este es un proceso en el cual influyen muchas variables, estas están asociadas a la carga de contaminantes que se encuentre en la atmosfera, las condiciones climáticas de la región, la cobertura vegetal y las especies arbóreas que la constituyen, lo que hará que los valores de remoción sean mayores o menores, según el comportamiento de estas variables (Arroyave, 2018).

Para examinar la capacidad de ciertas especies de plantas o árboles para retener partículas, es importante estudiar cuidadosamente las características funcionales de la flora. Estas características se refieren a los rasgos químicos y físicos que pueden servir como indicadores de la respuesta de las plantas a los cambios ambientales. Estos rasgos están asociados al área foliar de la especie, la densidad estomática con la que cuente, el tipo de hoja y la longitud foliar del árbol (Ríos, 2022).

La capacidad de la vegetación para retener partículas se produce principalmente a través de las hojas, y esto se debe a la variedad de estructuras presentes en las hojas, las cuales varían de una especie a otra y determinan su eficacia para capturar partículas. Se ha observado que, en general, las especies con hojas más pequeñas, anchas y rugosas son más efectivas en la captura de partículas que las hojas lisas y suaves. Dependiendo de las características de la hoja, ésta puede desempeñar mejor ciertas funciones. Por ejemplo, los tricomas (crecimientos o apéndices como: pelos, escamas o papilas) aumentan la rugosidad y la superficie de contacto con las partículas, lo que reduce la cantidad de partículas suspendidas en el aire (Vargas, 2021).

#### **5.1.7. Capacidad De Remoción De Contaminantes Del Arbolado urbano**

Existen diversas formas de estimar la cantidad de material particulado retenido por la vegetación, que puede realizarse mediante experimentos en laboratorio o mediante modelos numéricos y físicos. Por lo general, los métodos utilizados para estimar la captura de partículas por la vegetación se centran en la estimación de las partículas capturadas en la superficie de las hojas. Se ha realizado poca investigación sobre el desempeño de otras partes de la vegetación en la captura de partículas. En cuanto a las hojas, existen tres métodos experimentales utilizados para su evaluación: el método de lavado de hojas, el método del regenerador de aerosoles y el método de microscopía electrónica de barrido (Vargas, 2021).

Por otra parte, Vieco en el año 2014, dejó claro que, es esencial comprender la habilidad de las especies de plantas que se encuentran en las áreas verdes para retener partículas y considerar esta función en el diseño de proyectos paisajísticos en zonas urbanas. La vegetación en las ciudades, al capturar material particulado, puede mejorar la calidad del aire y reducir los efectos negativos en la salud, aumentando el bienestar de las personas.

El método comparativo es uno de los métodos más comunes utilizados para evaluar la capacidad de la vegetación para remover contaminantes atmosféricos. Este método implica el estudio y análisis comparativo del comportamiento de los contaminantes atmosféricos en áreas urbanas y suburbanas. A través de la comparación de porcentajes, se ha demostrado que la vegetación en áreas urbanas puede remover hasta un 11% de los contaminantes, mientras que, en áreas suburbanas, este porcentaje puede superar el 15%. Estos resultados subrayan la importancia de contar con una buena cobertura vegetal para mejorar la calidad del aire (Cardona, 2019).

#### **5.1.8. Estaciones Meteorológicas**

Los equipos de monitoreo ambiental son dispositivos electrónicos que se utilizan para registrar y analizar las condiciones del entorno. Su principal función es detectar eventos inesperados, monitorear y medir la calidad del aire y proteger a los trabajadores en áreas donde los niveles de contaminación son elevados. Estos equipos pueden ser manuales o automatizados y su diseño varía según la función específica que desempeñan.

Entre los equipos más comunes se encuentran las estaciones meteorológicas, que miden diversos parámetros climáticos, los anemómetros, que evalúan la velocidad del viento, y los barómetros, que registran la presión atmosférica. Además, existen otros dispositivos menos comunes, como bombas aspiradoras y colectores solares, que también contribuyen al monitoreo ambiental. (Sánchez, 2021)

Una estación meteorológica es el lugar donde se realizan mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos utilizando los instrumentos adecuados para así poder establecer el comportamiento atmosférico. (PCE, 2019)

Las características más destacadas de esta estación meteorológica, podemos encontrar

- **Estación pluviométrica:** es la estación meteorológica que tiene un pluviómetro o recipiente que permite medir la cantidad de lluvia caída entre dos mediciones realizadas consecutivas. (PCE, 2019).
- **Estación pluviográfica:** es cuando la estación meteorológica puede realizar de forma continua y mecánica un registro de las precipitaciones, por lo que nos permite conocer la cantidad, intensidad, duración y período en que ha ocurrido la lluvia. (PCE, 2019).
- **Estación climatológica principal:** es aquella estación meteorológica que esta provista para realizar observaciones del tiempo atmosférico actual, cantidad, visibilidad, precipitaciones, temperatura del aire, humedad, viento, radiación solar, evaporación y otros fenómenos especiales. Normalmente se realizan unas tres mediciones diarias. (PCE, 2019).
- **Estación climatológica ordinaria:** esta estación meteorológica tiene que estar provista obligatoriamente de psicrómetro, de un pluviómetro y un pluviógrafo, para así poder medir las precipitaciones y la temperatura de manera instantánea. (PCE, 2019).
- **Estación sinóptica principal:** este tipo de estación meteorológica realiza observaciones de los principales elementos meteorológicos en horas convenida internacionalmente. Los datos se toman horariamente y corresponden a nubosidad, dirección y velocidad de los vientos, presión atmosférica, temperatura del aire, tipo y altura de las nubes, visibilidad, fenómenos especiales, características de humedad,

precipitaciones, temperaturas extremas, capas significativas de las nubes, recorrido del viento y secuencia de los fenómenos atmosféricos. Esta información se codifica y se intercambia a través de los centros mundiales con el fin de alimentar los modelos globales y locales de pronóstico y para el servicio de la aviación. (PCE, 2019).

- **Estación sinóptica suplementaria:** al igual que en la estación meteorológica anterior, las observaciones se realizan a horas convenidas internacionalmente y los datos corresponden comúnmente a la visibilidad, fenómenos especiales, tiempo atmosférico, nubosidad, estado del suelo, precipitaciones, temperatura y humedad del aire, viento. (PCE, 2019).
- **Estación agrometeorológica:** en esta estación meteorológica se realizan mediciones y observaciones meteorológicas y biológicas, incluyendo fenológicas y otro tipo de observaciones que puedan ayudar a la determinación de las relaciones entre el tiempo y el clima, por una parte y la vida de las plantas y los animales, por la otra. Incluye el mismo programa de observaciones de la estación climatológica principal, más registros de temperatura a varias profundidades (hasta un metro) y en la capa cercana al suelo (0, 10 y 20 cm sobre el suelo). (PCE, 2019).

## 5.2.Marco Legal

El marco legal explora las normativas, políticas y reglamentos vigentes relacionados con la gestión de zonas verdes y la mitigación de los efectos climáticos en áreas urbanas. Incluye una revisión de las leyes ambientales y urbanísticas nacionales e internacionales que promueven el desarrollo sostenible y la protección de espacios verdes, así como las políticas locales que regulan el uso del suelo, el mantenimiento del arbolado urbano, y las estrategias de adaptación climática.

Este análisis permite contextualizar el estudio en un marco normativo que fomente intervenciones de biodiversidad y arbolado como estrategias para reducir las islas de calor.

- ***Acuerdo de París:*** Este acuerdo global sobre cambio climático firmado en 2015 subraya la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y aumentar la resiliencia climática en las ciudades. Aunque no menciona explícitamente las islas de calor, el acuerdo promueve la planificación urbana sostenible y la adaptación, que incluyen estrategias como el arbolado urbano y los espacios verdes. (Unidas, 2015).
- ***Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (ONU):*** Este marco establece objetivos para el desarrollo urbano sostenible. El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 11 busca hacer que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles, promoviendo espacios verdes y planificación urbana que contribuya a la reducción de las islas de calor urbanas. (Unidas, 2015).
- ***Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC):*** A través de sus programas de adaptación, como el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), promueve la adaptación urbana para contrarrestar fenómenos como las islas de calor. ((UNFCCC)., 1992).

- ***Planes de Ordenamiento Territorial (POT)***: En muchos países, los POT son instrumentos de planeación urbana que regulan el uso del suelo y, en algunos casos, incluyen directrices para la implementación de infraestructura verde para reducir el impacto de las islas de calor. Algunas ciudades, como Bogotá y Medellín en Colombia, tienen POT que incluyen normas para la creación de corredores verdes y arbolado urbano.
- ***Ley 99 de 1993 (Colombia)***: Esta ley establece el marco general de protección ambiental en Colombia. Aunque no trata específicamente las islas de calor, promueve el manejo ambiental en zonas urbanas y la creación de áreas verdes que ayudan a mitigar el calor urbano. (Colombia., 1993)
- ***C40 Cities Climate Leadership Group***: Esta red de ciudades globales trabaja en colaboración para combatir el cambio climático y reducir los efectos de las islas de calor mediante proyectos de infraestructura verde y corredores bioclimáticos. Varias ciudades, como Nueva York y París, han implementado estrategias específicas para mitigar las islas de calor. (Group., 2020).
- ***Green Cities Declaration (ICLEI)***: Esta declaración promueve el desarrollo de ciudades sostenibles y resilientes, enfocándose en áreas como la infraestructura verde y la biodiversidad urbana. A través de ICLEI (Gobiernos Locales por la Sostenibilidad), ciudades en América Latina y el Caribe desarrollan políticas para reducir el efecto de las islas de calor. (ICLEI., 2003).
- ***Healthy Cities Programme (OMS)***: La Organización Mundial de la Salud, a través de este programa, aboga por la creación de entornos urbanos que minimicen riesgos

ambientales y mejoren la salud, lo que incluye estrategias para combatir el calor urbano. (Organization., 1997)

### **5.3.Estado Del Arte**

Las islas de calor urbano son áreas dentro de una ciudad que experimentan temperaturas significativamente más altas que las zonas circundantes menos urbanizadas. Este fenómeno se debe a la acumulación de calor en áreas urbanas densamente pobladas y construidas, donde los materiales de construcción absorben y retienen el calor, y la falta de vegetación y agua contribuye a la falta de enfriamiento natural. Las islas de calor urbano pueden tener efectos negativos en la calidad del aire, la salud de la población, el consumo de energía y el confort térmico de los habitantes urbanos. Es por ello por lo que Carlos Alberto Fuentes Pérez (2014) en el estudio realizado en Tampico, México, aborda de manera exhaustiva el impacto de las islas de calor urbano en la calidad del hábitat de la ciudad. La idea principal se centra en la necesidad de comprender y mitigar los efectos negativos de las altas temperaturas urbanas, generadas principalmente por la transformación del entorno natural en áreas construidas con baja reflectividad y capacidad de absorción de agua. Los objetivos de la investigación incluyen demostrar la metodología de estudio de las islas de calor urbanas en Tampico, identificar patrones de comportamiento de temperatura y analizar la relación entre el microclima y la calidad de vida de la población.

Los resultados obtenidos revelan la existencia de una clara relación espacial entre las islas de calor urbano y las áreas escasamente vegetadas, con baja humedad relativa y reflectividad, lo que explica las altas temperaturas registradas. Se destaca que estas islas de calor no solo generan estrés térmico en la población, sino que también contribuyen a la contaminación atmosférica y a

la propagación de enfermedades respiratorias. Además, se observa que el microclima del centro histórico de la ciudad contribuye al aumento de la temperatura en el interior de las edificaciones, especialmente aquellas destinadas originalmente a viviendas que han sido transformadas en locales comerciales u oficinas. Por último, se resalta la importancia de considerar la calidad del hábitat desde una perspectiva ambientalista y sustentable, tomando medidas como la creación de zonas verdes, el uso de materiales más frescos en la construcción y la implementación de estrategias de planificación urbana que mitiguen los efectos del calor urbano. Se hace hincapié en la necesidad de una gestión urbana responsable que aborde los desafíos climáticos existentes y futuros, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y reducir los impactos negativos en el entorno urbano. (Fuentes, 2014)

Así mismo (Zavaleta, Díaz, Morales, & Narcizo, 2020) en su artículo científico titulado urbanización y su relación con la isla de calor en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, tiene como objetivo principal identificar y analizar la presencia de la Isla de Calor Urbano (ICU) en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, como un fenómeno resultante del cambio de uso de suelo que acompaña la expansión urbana. Para alcanzar este objetivo, se implementaron el modelo meteorológico MM5, que permitió simular las condiciones atmosféricas. A través de esta metodología, se generaron mapas de isotermas que ilustraron la distribución de temperaturas en diferentes momentos del día, cuando se evidenció la formación de la ICU. Los resultados de la simulación indicaron que la ICU puede presentar intensidades que oscilan entre 0.5 y 2.5 °C, aunque se observó que en ciertas áreas, especialmente en el centro de la ciudad, las temperaturas podrían superar los 5 °C.

Este incremento en la temperatura se atribuyó a factores como la modificación del uso de suelo y la disminución de la cobertura vegetal, lo que a su vez afecta el intercambio energético en la región. Las conclusiones del estudio subrayan que la expansión urbana no solo incrementa la

extensión e intensidad de la ICU, sino que también plantea serias implicaciones para el bienestar ambiental y la calidad de vida de los habitantes. Por lo tanto, se enfatiza la necesidad de implementar medidas de mitigación, como la protección y conservación de áreas verdes, así como la planificación territorial adecuada, para abordar los efectos adversos de la ICU y promover un desarrollo urbano sostenible.

Por consiguiente (Soto, 2018) en el artículo titulado estimación de la isla de calor urbana en Medellín, Colombia, tiene como objetivo analizar y estimar el fenómeno de la isla de calor urbana (ICU) en la región metropolitana del Valle de Aburrá. Este estudio busca comprender cómo el desarrollo urbano ha influido en el incremento de las temperaturas superficiales en comparación con las áreas rurales circundantes, así como evaluar el impacto de la pérdida de vegetación en este fenómeno. Para llevar a cabo esta investigación, se utilizaron imágenes satelitales de Landsat TM, ETM+ y OLI/TIRS, lo que permitió realizar un análisis temporal de las variaciones en la temperatura superficial y la densidad de vegetación. Se aplicaron metodologías estadísticas, incluyendo pruebas de hipótesis t sobre los parámetros de regresión, para evaluar la significancia de los resultados obtenidos.

Los hallazgos del estudio indican que, en promedio, la temperatura en las áreas urbanas de Medellín es 4.81 °C más alta que en las zonas rurales adyacentes, con un efecto más pronunciado en la zona central del valle, donde se concentra la mayor densidad urbana y se ha observado una considerable pérdida de vegetación. Las conclusiones del artículo subrayan la necesidad de implementar estrategias de mitigación y adaptación enfocadas en las áreas más afectadas por la ICU, así como la importancia de realizar estudios adicionales que consideren variables como la interferencia atmosférica y la variabilidad climática, para abordar de manera efectiva este fenómeno en el futuro.

Además, se destaca que la investigación contribuye a la comprensión del impacto del desarrollo urbano en la calidad de vida de la población y la necesidad de políticas urbanas sostenibles. Por otro lado (Perez, 2023) en su investigación titulada efecto de isla de calor superficial y su relación con la cobertura del suelo para las ciudades de Barranquilla y Sincelejo en los años 2002 y 2018 tiene como objetivo general analizar la variación del efecto de isla de calor en la temporada seca de ambas ciudades y cuál es su relación con la cobertura del suelo, los resultados arrojaron que en Barranquilla las ICU es muy notable con alrededor de 5 °C de diferencia de la zona urbana y periférica, en cambio en Sincelejo es más débil con 1°C, además para el 2018 hubo un aumento de la temperatura siendo este periodo el más cálido y se determinó que las coberturas inundables y con vegetación densa poseen los menores valores de temperatura mientras que las coberturas con poca vegetación y baja humedad son las más calientes.

Así mismo (Palacio, 2019) en su trabajo de investigación medidas de adaptación/mitigación ante islas de calor en el Valle de Aburra propone estrategias que buscan minimizar el impacto de las ICU, tales como pavimentos fríos debido a que estos acumulan menos cantidad de calor, ya que poseen un albedo mucho mayor, los adoquines de hierba tienen una absorción de radiación solar directa, adicionalmente las hierbas realizan el proceso de evapotranspiración, adoquín en grava, pavimento con alto albedo y los techos verdes que son aquellos que tienen una estructura con cobertura vegetal que genera la disminución de radiación solar absorbida por las superficies tradicionales. La metodología utilizada se basó en cuatro fases, identificación de áreas críticas, proponer medidas de mitigación y adaptación de acuerdo con la intensidad de las islas de calor, estimar el beneficio potencial al implementar las medidas y diseñar el plan de implementación para las medidas propuestas.

Por lo tanto (Zuluaga, Londoño, Parra, Arango, & Salazar, 2023) en su artículo de investigación El impacto de la arborización como estrategia de mitigación de la isla de calor

urbana en el Caribe colombiano se centra en evaluar la arborización como estrategia de mitigación de la Isla de Calor Urbana (ICU) en Barranquilla, Colombia, un fenómeno común que puede intensificarse con el cambio climático en climas cálido-húmedos. La vía seleccionada para el estudio fue la "Carrera 44" debido a su alta exposición a la radiación solar. El objetivo principal fue analizar diferentes opciones de sombra vegetal mediante simulaciones computacionales de la temperatura operativa para comparar escenarios en los años 2020 y 2050.

Los resultados obtenidos mostraron que la implementación de sistemas de arborización en la Carrera 44 logró una disminución de hasta 3,7°C en la temperatura operativa de la calle, representando una mitigación del 63% de la ICU. A pesar de que todas las propuestas generaron una reducción en los valores analizados, ninguna de ellas logró eliminar por completo la Isla de Calor Urbana en el área de estudio.

Se evidenció que la arborización, aunque efectiva, no es suficiente como única estrategia de mitigación, y se sugirió la necesidad de complementarla con otras acciones, como cambios en la materialidad de las calles y edificaciones. En las conclusiones, se destacó que la aplicación de sistemas de arborización y otros cambios urbanos no solo contribuyen a mitigar la Isla de Calor Urbana, sino que también son fundamentales en la planificación de espacios urbanos futuros. A pesar de no lograr una mitigación total de la ICU en un lugar específico, el estudio aporta a la planificación de ciudades más sostenibles y al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes. Se resalta la importancia de considerar estrategias complementarias y la planificación integral para abordar eficazmente el fenómeno de la Isla de Calor Urbana en entornos urbanos.

Por otro lado, (Criollo, 2018) en su investigación titulada Evaluación de la cobertura vegetal de los parques del programa de adopción de parques y zonas verdes de la ciudad de Cali como estrategia para la mitigación de islas de calor como objetivo principal se planteó estimar el efecto de la cobertura vegetal existente en los parques sobre el microclima de las zonas adyacentes. Para

lograr este propósito, se llevaron a cabo diversas etapas metodológicas, comenzando con la caracterización de cinco parques pertenecientes al programa en el año 2017. Los objetivos específicos del estudio incluyeron realizar un diagnóstico de la situación de cada parque, estimar los parámetros climáticos como temperatura, humedad relativa y velocidad del viento tanto dentro de los parques como en las zonas circundantes, y correlacionar estos parámetros con las características de la cobertura vegetal de los parques. Los resultados obtenidos revelaron que la presencia de cobertura vegetal en los parques analizados contribuyó significativamente a la modulación del microclima en las zonas adyacentes, especialmente en términos de reducción de la temperatura y aumento de la humedad relativa. Estos hallazgos respaldan la importancia de mantener y promover áreas verdes en entornos urbanos como estrategia para mitigar los efectos de las islas de calor en donde se destaca la relevancia de los espacios verdes en las ciudades para mejorar la calidad de vida de los habitantes y para enfrentar los desafíos del cambio climático.

La investigación titulada identificación y propuesta de estrategias de mitigación del efecto islas de calor para la localidad del distrito capital, realizada por (Narvaez & Ruiz, 2013) tiene como objetivo principal elaborar estrategias estructurales y no estructurales que mitiguen el efecto isla de calor, mejorando así la calidad de vida de la población afectada en la localidad seleccionada de Bogotá. La metodología implementada fue de enfoque mixto y se basa en un paradigma descriptivo-analítico. Donde se llevó a cabo una recopilación de información secundaria, que incluyó la revisión de documentación existente a nivel internacional, nacional, regional y local, así como la normativa relacionada.

Los resultados de la investigación indican que existen diversas medidas que pueden implementarse para mitigar el efecto isla de calor, las cuales fueron clasificadas y priorizadas según su efectividad. Como conclusión el estudio resalta la importancia de un enfoque integral que involucre a múltiples actores sociales y políticos en la creación de políticas públicas

efectivas. Se enfatiza que la ciencia debe jugar un papel activo en el proceso deliberativo para sustentar iniciativas locales que contribuyan a la mitigación del cambio climático y, en particular, del efecto isla de calor.

Por último (Rhodes, 2012) en su investigación titulada Implementación de un modelo de techo verde y su beneficio térmico en un hogar de Honda, Tolima (Colombia), tiene como objetivo principal evaluar el impacto de un techo verde en la reducción de la temperatura en un hogar, su metodología se basó en diferentes fases: la primera consistió en la recopilación de información sobre techos verdes, incluyendo su concepto, beneficios y antecedentes. La segunda se centró en la implementación del modelo de techo verde en una vivienda seleccionada, considerando factores como la accesibilidad, la estructura de la casa y la disposición de los habitantes para participar en el proyecto. Se realizaron mediciones de temperatura antes y después de la instalación del techo verde para evaluar su efectividad, los resultados mostraron una disminución significativa de la temperatura en el interior de la vivienda tras la implementación del techo verde, lo que indica su efectividad como estrategia de enfriamiento natural. Además, se observó una mejora en el confort térmico de los habitantes.

## **6. Metodología**

En este capítulo se describe el enfoque metodológico adoptado para alcanzar los objetivos del estudio. Se detallan los métodos de recolección y análisis de datos empleados para identificar las áreas de concentración de islas de calor, evaluar el impacto del arbolado urbano en la reducción de estas, y diseñar estrategias de biodiversidad urbana como medidas de mitigación. La metodología seleccionada combina monitoreos in situ, análisis de datos existente, buscando obtener resultados precisos y replicables que fundamenten las conclusiones y recomendaciones.

### **6.1.Población y muestra**

Barranquilla es una ciudad que se distingue de todas las demás por la mezcla entre cultura caribe y desarrollo industrial. De hecho, es uno de los puertos más importantes de Colombia en el presente y también tiene entre sus calles muchas historias que contar. Está ubicada en el Atlántico, al norte de Colombia, en la desembocadura del Río Magdalena al Mar Caribe. (Lahaus, 2021)

En la actualidad Barranquilla es reconocida como uno de los grandes centros de desarrollo económico del país. De acuerdo con el Índice Mensual Económico Distrital (IMED), elaborado por Fundesarrollo, la economía de Barranquilla creció un 3% anual en septiembre de 2021, doblando el ritmo registrado durante el mismo periodo 2019. (Lahaus, 2021).

El índice asociado a nivel nacional se esperaba un crecimiento de 9,8% según El Banco de la República y el mundial esperado era de 5,6% propuesto por el Banco Mundial. Estos porcentajes muestran el liderazgo que está mostrando Barranquilla en la reactivación económica desde el año 2021. (Lahaus, 2021).

Las condiciones laborales de Barranquilla mejoran de manera acelerada, si las comparamos con las de otras ciudades del país. De hecho, según el DANE, en Barranquilla la tasa de desempleo se ubicó en 9,6% para el trimestre móvil de agosto-octubre, la segunda más baja del país.

Desde que se denominó Distrito especial, por su actividad portuaria e industrial, Barranquilla está dividida en 5 localidades: Riomar, Norte Centro-Histórico, Metropolitana, Suroccidente, Suroriente. El 54.1% de la población se concentra en las localidades de Suroccidente y Suroriente. Y la dinámica de estas localidades con sus barrios muestran un aumento poblacional considerable en especial en las localidades de Riomar y Suroccidente. (Lahaus, 2021).

La población muestra es la localidad de Riomar de la ciudad la cual cuenta con un número de habitantes de 78,000 habitantes según el último censo realizado por el DANE.

**Figura. 2.**

Mapa del del Distrito Especial, Industrial y Portuario de Barranquilla y sus 5 localidades



*Fuente:* (vgalvez\_baq, 2021)

Por otro lado, también se consideró la población de estudio para esta investigación estuvo conformada por los árboles urbanos presentes en la ciudad de Barranquilla durante el año 2019, y que fueron inventariados por parcela para identificar las especies arbóreas presentes en cada una de las áreas que conforman la ciudad.

EL Diagnóstico del arbolado urbano en el distrito de Barranquilla, liderado por el Establecimiento Público Ambiental (EPA) Barranquilla Verde, fue fundamental para la obtención de información crucial para el desarrollo de los objetivos propuestos en esta investigación.

El inventario fue tipo muestral, mediante parcelas preestratificadas (que tuvieron un tamaño equivalente a 404.68 m<sup>2</sup>), entre las cinco localidades mencionadas anteriormente, el número total se calculó siguiendo las recomendaciones del Manual del Usuario de EcoV6, que sugiere al menos 200 parcelas como regla general para asegurar un error estándar del 10%. Para este caso en particular, se duplicaron el número de parcelas, y se añadieron 96 adicionales como precaución para disminuir el error estándar y obtener una estimación representativa de la cobertura vegetal total real de la ciudad y su capacidad de remoción. (Serrano, 2022).

Por su parte, el número de parcelas asignadas a cada localidad se determinó con base a los resultados obtenidos con i-Tree Canopy, que proporcionó información fundamental para el análisis de la población de árboles, su diversidad y su contribución a los servicios ecosistémicos en la ciudad, tal como se detalla en la tabla 1, donde se evidencia la representatividad de las localidades en el distrito de barranquilla en cuanto al porcentaje de cobertura arbórea (CA) y las parcelas correspondientes a cada una teniendo en cuenta esto:

**Tabla 1.**

Número de parcelas de las 5 localidades de la ciudad de Barranquilla.

<b>Localidades</b>	<b>%CA</b>	<b>Número de parcelas</b>
Riomar	39,00%	88
Norte Centro Histórico	21,50%	80
Suroccidente	26,25%	95
Metropolitana	20,75%	160
Suroriente	21,00%	73
<b>Total</b>		<b>496</b>

*Fuente:* (Serrano, 2022)

Las parcelas se generaron aleatoriamente, utilizando una herramienta de generación aleatoria con distancia mínima, con la excepción de Riomar, donde no se especificó la distancia mínima, ya que algunas áreas de Barranquilla se excluyeron de la toma de muestras debido a razones de seguridad y acceso, y para compensar, se incrementó el número de parcelas en otras áreas.

Durante la recolección de datos, se tuvo acceso a 322 parcelas de las 496 parcelas establecidas. La información recopilada se procesó utilizando la herramienta i-Tree Eco V6 para caracterizar el arbolado urbano, determinar su valor ecológico y cuantificar los servicios ecosistémicos que proporciona a la ciudad (Ramos, 2023).

## **6.2. Identificar las áreas de mayor concentración de islas de calor mediante monitoreos in situ.**

Para la identificación de las áreas de mayor concentración se tomó un área representativa de la localidad de Riomar, consideraron que era el barrio de esa localidad donde mayor afluencia de árboles representaba. Sin embargo, para ello, se realizaron monitoreos continuos (Jornada de la Mañana, Jornada Tarde, Jornada de la noche).

Se realizaron monitoreo de temperatura en punto específico utilizando una estación meteorológica portátiles para la medición de la temperatura y humedad en la zona de estudio para obtener datos y en diferentes horas del día (picos de temperatura y noches).

El muestreo fue sistemático y se consideraron basados en factores como el tipo de uso del suelo (residencial, comercial, industrial) y áreas verdes. Medir la temperatura superficial en cada sitio y registrar datos meteorológicos (velocidad del viento, humedad).

El equipo portátil fue Estación meteorológica Vantage Vue Wireless Vantage Vue™ Fully Integrated Wireless Weather Station Estación con transmisión inalámbrica en rango de hasta 300 metros de distancia entre la unidad remota de sensores y la consola digital.

Incluye sensores para temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad de viento, precipitación lluviosa. El módulo de sensores está totalmente integrado, es resistente a la corrosión y está preparado para resistir toda inclemencia del clima, Vantage Vue™ incluye un compacto conjunto de sensores para lecturas al aire libre y una consola LCD para uso bajo techo.

Alimentación mediante panel solar y batería de backup de 3V, descarga de datos mediante datalogger (Opcional) con posibilidad de descarga vía Serial, USB o mediante conexión IP para visualizar los datos directamente en Internet.

**Figura. 3.**

Equipo meteorológico Davis Instruments



**Fuente:** (Controls, 2024), (Autores,2024).

### **6.3.Evaluar el impacto del arbolado urbano en la reducción de las islas de calor**

Para la evaluación del impacto del arbolado urbano, se compararon las temperaturas durante 5 días para analizar los registros de estas en un área donde exista el arbolado urbano representativo de la localidad de Riomar mediante mediciones in situ, considerando factores como el tipo de vegetación, cobertura de copa, y densidad de árboles.

No obstante, bajo el estudio realizado por EPA Barranquilla Verde del arbolado urbano para el año 2019 donde se trabajó con un simulador de la influencia del arbolado en la reducción de temperaturas, llamado i-Tree, para cuantificar los efectos de las áreas verdes de la localidad de Riomar. A partir de iTree-Eco, resultaron dos informes, el primero, que proporciona una lista detallada que abarca la distribución del arbolado urbano, su agrupación por localidad y parcela, y la cantidad de árboles en cada localidad (Metropolitana, Riomar, Norte Centro Histórico, Suroccidente y Suroriente), junto con la diversidad de especies presentes.

#### **6.4. Diseñar estrategias basadas en la biodiversidad urbana para mitigar las islas de calor en la localidad Riomar**

Para las estrategias que se propondrán para la mitigación de las islas de calor se tiene identificada el arbolado de la localidad los cuales se enfatiza en especies que se encuentran contabilizadas dentro del inventario por localidad establecido por EPA Barranquilla Verde, de allí se analizaran cuales contribuyen a la reducción de temperatura y que sean resilientes al clima urbano.

Para ello se crearán fichas de creación de escenarios con especies de árboles, arbustos y cubiertas vegetales que promuevan la reducción de calor. Evaluar los beneficios climáticos y ecológicos de cada escenario.

### **7. Resultado Y Discusión**

Este capítulo presenta los hallazgos obtenidos tras la aplicación de la metodología descrita anteriormente. Se analizan los datos recolectados en relación con las áreas de mayor concentración de islas de calor, la influencia del arbolado urbano en la regulación de temperaturas, y la efectividad de estrategias de biodiversidad urbana para mitigar el calor en la localidad de Riomar. Los resultados se exponen de manera clara y organizada para facilitar la interpretación de estos y su relevancia en el contexto de urbanismo sostenible y mitigación climática.

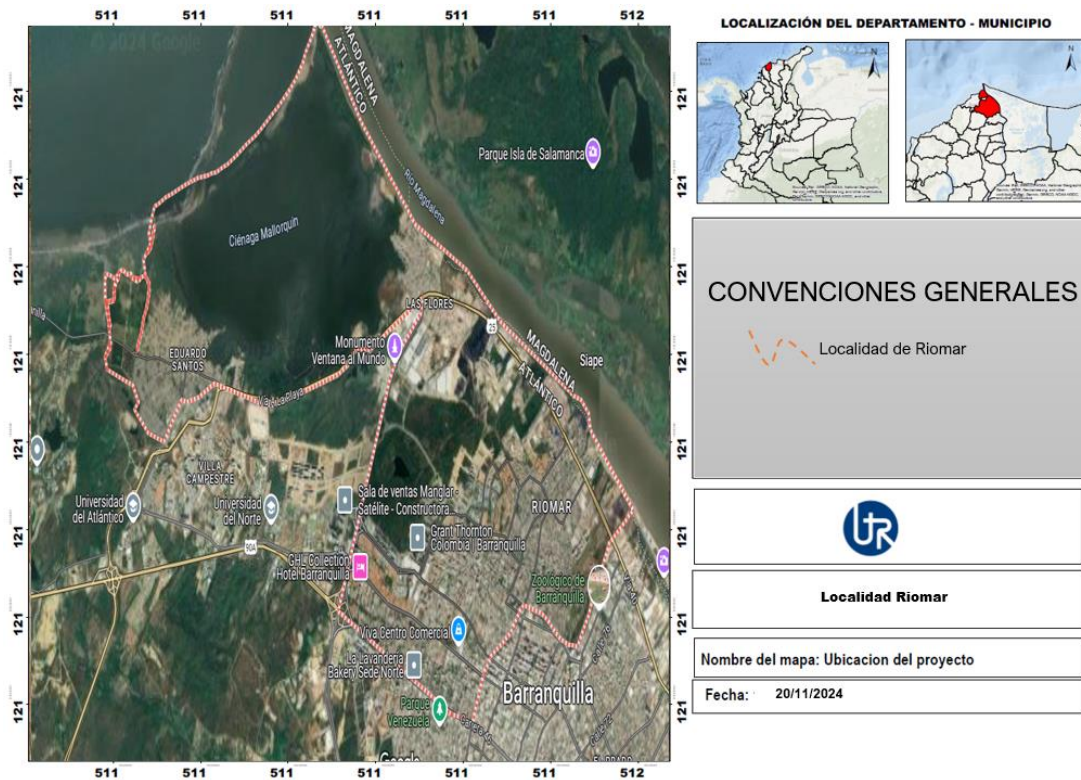
#### **7.1. Área de estudio**

Riomar es una localidad clasificada como suelo urbano en su totalidad con un área aproximada de 2.227,17 hectáreas. Se encuentra ubicada dentro de los siguientes límites: al norte con el río Magdalena; al occidente con los límites del municipio de Puerto Colombia; al sur con la acera

norte de la carrera 46, autopista al mar hasta la calle 84, y al oriente con la carrera 46 con calle 84 siguiendo hasta la calle 82 y al arroyo de la 84, finalizando en el río Magdalena, incluyendo zonas de expansión urbana y rural y el corregimiento de la Playa.

**Figura. 4.**

Localidad de Riomar de la ciudad de Barranquilla, Atlántico



**Fuente:** (autores,2024).

La localidad de Riomar se encuentra comprendido por los siguientes barrios:

**Tabla 2.**

Barrios de la localidad de Riomar.

Altamira	Riomar
Altos de Riomar	San Salvador
Altos del Limón	San Vicente

---

Andalucia	Santa Mónica
Corregimiento Eduardo Santos La Playa	Siape
El Limoncito	Solaire Norte
El Poblado	Villa Campestre
La Floresta	Villa Carolina
Las Flores	Villa del Este
Las Tres Ave Maria	Villa Santos

---

Fuente: (Lahaus, 2021)

## **7.2. Identificación de la concentración de islas de calor en Riomar de Barranquilla**

Para la concentración de las islas de calor de la localidad se realizaron monitoreos continuos durante 5 días, para ello se conto con el equipo Davis Instruments, el cual permitió la medición de las temperaturas continuamente, al igual que otros parámetros como lo son dirección del viento, humedad, precipitación.

Para la selección del punto y monitoreo in situ se consideraron los siguientes puntos:

a) Se sugiere que el monitoreo se lleve a cabo por zonas verdes públicas (principalmente representadas por árboles de la calle) y valiosas propiedades con jardines privados ubicadas en un área urbana.

b) Téngase en cuenta que la presencia (o ausencia) de árboles en la definición de un arreglo de calles concierne únicamente a la vegetación de propiedad pública (es decir, árboles a lo largo de las aceras o grupos de árboles en pequeñas áreas de estacionamiento junto a las carreteras) ya que este estudio se centra en cómo la gestión verde urbana puede afectar el microclima, excluyendo así la vegetación en propiedades privadas.

c) Se debe evaluar componentes determinantes del clima exterior, como la humedad, la temperatura del aire y el viento, proporcionando un índice completo de estrés térmico.

d) Se debe considerar un adecuado un punto de seguimiento si su distancia a árboles y edificios privados minimizaba la interferencia con sus sombras proyectadas durante los intervalos de tiempo de detección.

e) Se sugiere de 1 a 6 puntos de muestreos de manera continua, no obstante, todos los puntos de monitoreo deben estar dentro de un área que permitía que un peatón pudiera moverse de un punto a otro y esperar en búsqueda de la sombra.

f) Monitorear con cualquier equipo calibrado que mida los componentes determinantes del clima exterior como los mencionados mínimos por 1 hora para concluir la campaña.

g) La velocidad del viento y las sombras proyectadas por los edificios cercanos pueden afectar los datos detectados mediante el medidor. (evitar vórtices de vientos).

h) Se sugiere un intervalo de siete días entre los días de detección para maximizar la variación de la hora diurna a la nocturna entre dos días consecutivos de medición.

Siendo así se registraron los siguientes datos promedios por horas comprendiendo que:

Jornada de la Mañana: 6:00 am -12:00pm

Jornada de la Tarde: 1:00pm – 6:00pm

Jornada Nocturna: 7:00pm – 11:00pm

Dando como resultado las siguientes concentraciones por día (días monitoreados del 8 de noviembre al 12 de noviembre).

**Tabla 3.**

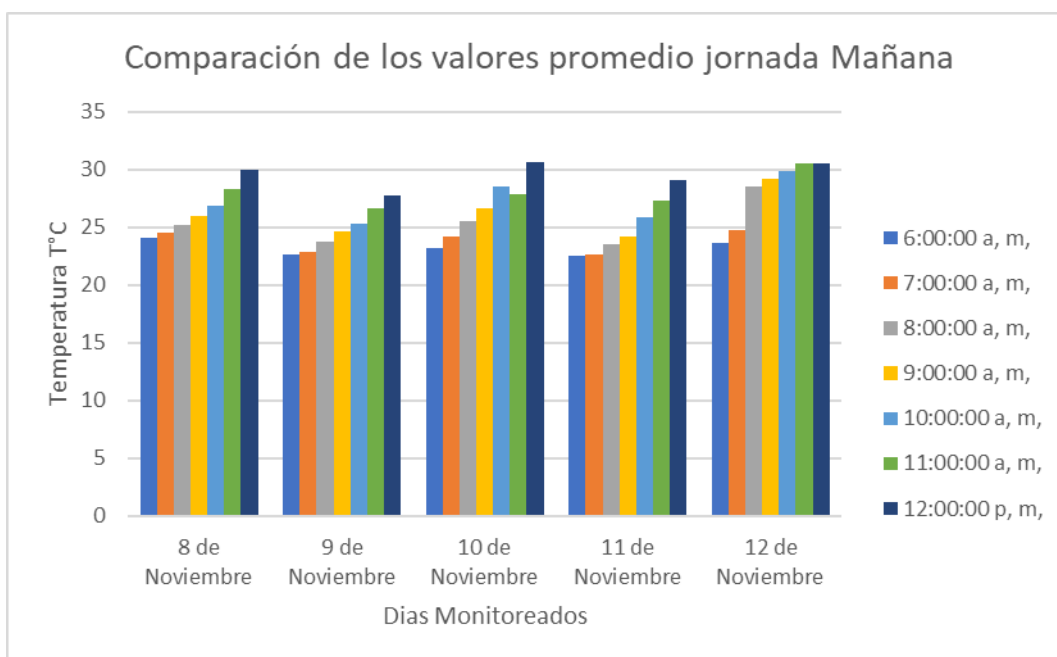
Registros de temperaturas de monitoreo in situ jornada de Mañana

Hora	Días Monitoreados Jornada Mañana				
	8 de noviembre	9 de noviembre	10 de noviembre	11 de noviembre	12 de noviembre
6:00:00 a, m,	24,1	22,7	23,2	22,5	23,7
7:00:00 a, m,	24,5	22,9	24,2	22,7	24,8
8:00:00 a, m,	25,2	23,8	25,5	23,5	28,6
9:00:00 a, m,	26	24,6	26,7	24,2	29,2
10:00:00 a, m,	26,9	25,3	28,6	25,9	29,9
11:00:00 a, m,	28,3	26,6	27,9	27,3	30,6
12:00:00 p, m,	30	27,8	30,7	29,1	30,6

Fuente: (autores,2024).

**Gráfica 1.**

Comparación de temperatura días monitoreados jornada mañana localidad Riomar.



Fuente: (autores,2024).

Bajo el análisis el análisis de la grafica 1, se puede deducir que el día que mayor registro de temperatura fue el día 10 de noviembre en la hora de las 12:00pm, con una temperatura de 30,7°C, sin embargo, el resto de los días registra que en esa hora es donde mayor incidencia en

horas de la mañana se presenta elevación de la temperatura, lo cual se asocia a las características de la ciudad donde es representativos, según históricos de la ciudad que es una de las horas donde mayor elevación de temperatura se logra presentar. No obstante, el día 9 de noviembre se registraron bajas temperaturas con respecto a los otros días monitoreando, dando un registro mínimo de 22,7°C.

**Tabla 4.**

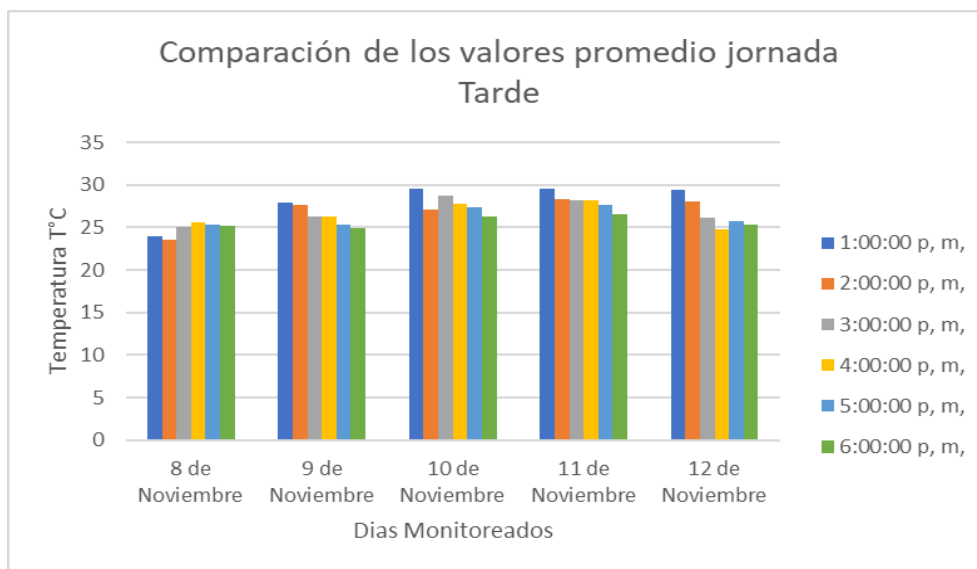
Registros de temperaturas de monitoreo in situ jornada de Tarde.

Hora	Días Monitoreados Jornada Tarde				
	8 de noviembre	9 de noviembre	10 de noviembre	11 de noviembre	12 de noviembre
1:00:00 p, m,	23,9	27,9	29,6	29,6	29,4
2:00:00 p, m,	23,5	27,6	27,1	28,3	28,1
3:00:00 p, m,	25,1	26,3	28,7	28,2	26,1
4:00:00 p, m,	25,6	26,3	27,8	28,2	24,8
5:00:00 p, m,	25,3	25,3	27,3	27,6	25,7
6:00:00 p, m,	25,2	24,9	26,3	26,6	25,3

Fuente: (autores,2024).

**Gráfica 2.**

*Comparación de temperatura días monitoreados jornada tarde localidad Riomar.*



Fuente: (autores,2024).

Bajo el análisis el análisis de la gráfica 2, se puede deducir que el día que mayor registro de temperatura fue el día 10 de noviembre en la hora de las 1:00pm, con una temperatura de 29,6°C, sin embargo, el día 11 y 12 de noviembre, registro a esa hora temperaturas con diferencias de decimales, por lo que se puede analizar que esa hora comprendida entre las 12:00pm y 1:00pm la localidad de Riomar de la ciudad de Barranquilla suele presentar altas temperaturas, por lo que se recalca que se asocia a las características de la ciudad donde es representativos, según históricos de la ciudad que es una de las horas donde mayor elevación de temperatura se logra presentar. Con respecto al día que presento una menor concentración que es el día 8 de noviembre con un mínimo de temperatura de 23.5°C.

**Tabla 5.**

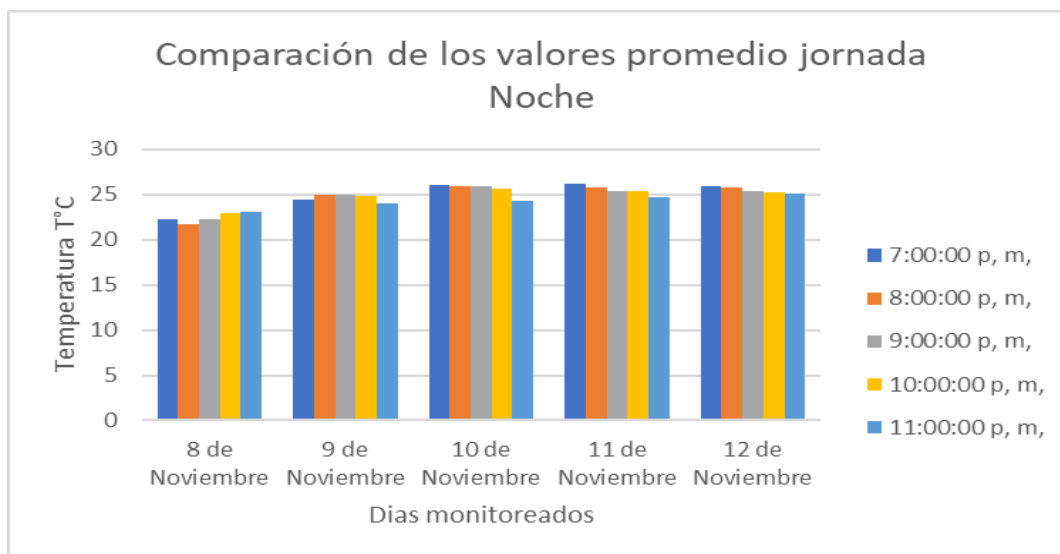
Registro de temperaturas de monitoreo in situ jornada Nocturna.

Hora	Días Monitoreados Jornada Nocturna				
	8 de noviembre	9 de noviembre	10 de noviembre	11 de noviembre	12 de noviembre
7:00:00 p, m,	22,3	24,4	26,1	26,2	25,9
8:00:00 p, m,	21,7	24,9	25,9	25,8	25,8
9:00:00 p, m,	22,2	24,9	25,9	25,4	25,3
10:00:00 p, m,	22,9	24,8	25,7	25,3	25,2
11:00:00 p, m,	23,1	24	24,3	24,7	25,1

Fuente: (autores,2024).

### Gráfica 3.

*Comparación de temperatura días monitoreados jornada nocturna localidad Riomar.*



Fuente: (autores,2024).

Bajo el análisis el análisis de la gráfica 3, se puede deducir que el día de mayor registro se mantuvo nuevamente el día 10 de noviembre esta vez presentando una de temperatura de 24.3°C, a las 11:00pm, por lo que en comparación a los otros gráficos podemos deducir que el día que mayor elevación hubo durante el monitoreo fue el día 10 de noviembre. Cabe resaltar que este fue un día donde se consideraron las siguientes observaciones:

- Fue un día soleado todo el día.
- Finalizado el día cerca de las 12:00pm según el equipo de medición utilizado se presentaron precipitaciones los cuales continuaron solo durante la madrugada.
- El porcentaje de humedad de ese día fue de 28.65% (valor promedio).
- La dirección y velocidad del viento su promedio fue de 1.07m/s

Cabe resaltar que las jornadas de monitoreo fueron realizadas en el parque de las tres avemarías, el cual cumplía con todas las características del lugar y se encuentra ubicado en la localidad de Riomar.

### **7.3. Evaluar el impacto del arbolado urbano en la reducción de las islas de calor en la localidad de Riomar**

En este proyecto, se ejecutó una fase crucial centrada en la recopilación y procesamiento de datos para identificar los árboles presentes en Barranquilla en 2019. Esto involucró la medición e identificación de atributos clave de los árboles, como su ubicación geográfica, dimensiones y especie.

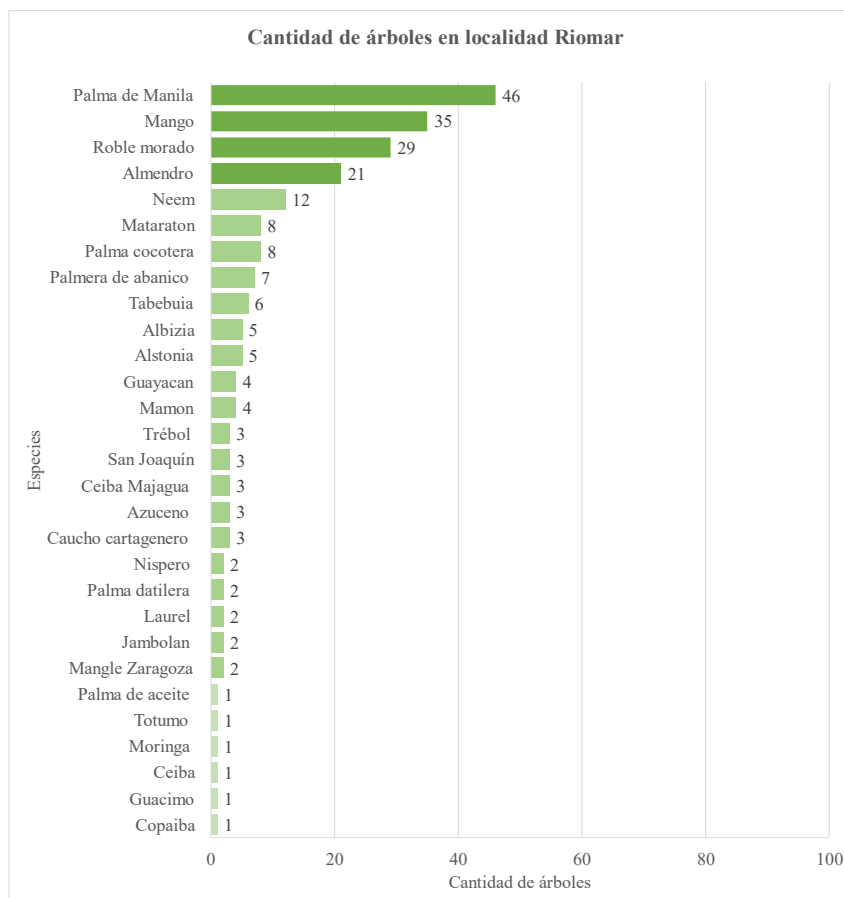
La conversión de los datos se realizó utilizando el software iTree-Eco V6, lo que resultó en la generación de dos informes que presentan una visión general del arbolado urbano en Barranquilla en sus 5 localidades, sin embargo, aquí solo nos enfocaremos en la localidad de Riomar. Dando así el siguiente análisis.

De las 29 especies de árboles que coexisten en la localidad Riomar, y tal como se evidencia en la figura 11, se identifican 5 especies representativas:

Palma de Manila (*Adonidia merrilli*), Mango (*Mangifera indica*), Roble Morado (*Tabebuia rosea*), Almendro (*Terminalia catappa*) y Neem (*Azadirachta indica*)

**Figura. 5.**

Gráfico de cantidad de árboles por especie en la localidad Riomar de la ciudad de Barranquilla.



**Nota.** Datos correspondientes a la localidad Riomar, en relación con las especies y cantidades de árboles. **Fuente:** (Ramos, 2023)

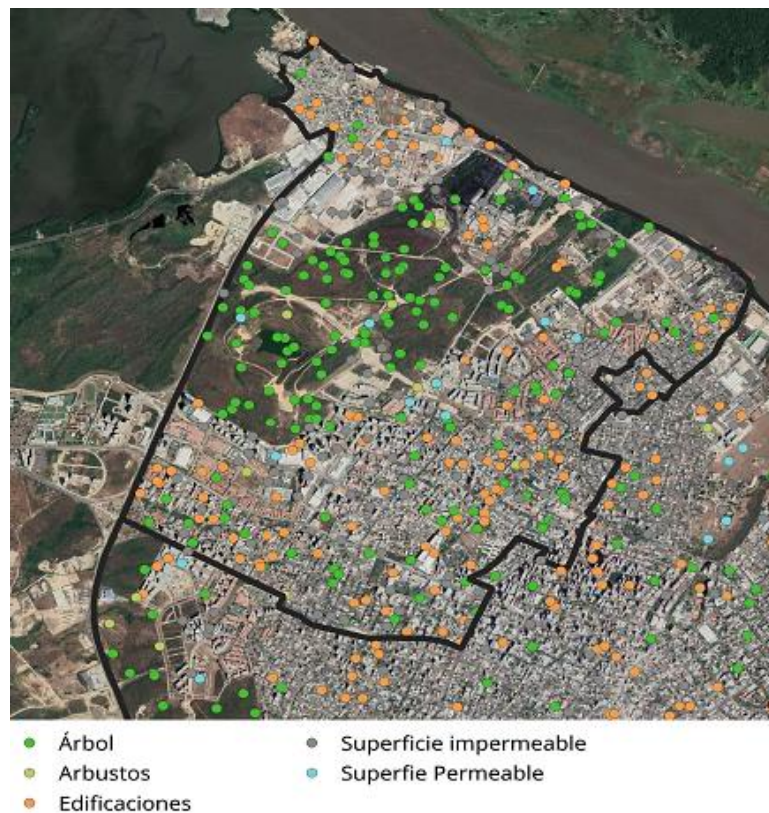
En primer lugar, están aquellas especies que están ampliamente distribuidas en la ciudad, lo cual tiene sentido, ya que se puede inferir que, debido a su presencia abundante, desempeñan un papel significativo en la remoción de contaminantes en comparación con las especies menos comunes.

En segundo lugar, se destacan especies como el "caucho cartagenero", que, a pesar de no ser tan numerosas, muestran la capacidad de eliminar concentraciones de contaminantes que resultan significativas para la ciudad.

No obstante, la localidad de Riomar, cuentan con la mayor cobertura arbolea de dando una representatividad de 39% al resto de coberturas. Estas se deben a que es una de las localidades que en los últimos años ha tenido un crecimiento exponencial bastante considerable.

**Figura. 6.**

Puntos de cantidad de árboles por especie en la localidad Riomar de la ciudad de Barranquilla.



Fuente: (Serrano, 2022)

No obstante, según la literatura y estudio presentado por (Akbari, 2001), se estimó que las especies que con mayores frecuencias brindan la sensación de frescura, al igual la disminución del

punto de calor son las especies de Mango (*Mangifera indica*), y Roble Morado (*Tabebuia rosea*) los cuales dentro de la caracterización anterior presentan un porcentaje de 15,80% y 13,10%.

#### **7.4. Diseñar estrategias basadas en la biodiversidad urbana para mitigar las islas de calor en la localidad Riomar.**

Para el diseño de estrategias con base a los resultados anteriores se propone que:

##### **Estrategia 1: Corredor Verde Urbano**

- **Línea de Actuación:** Creación de corredores ecológicos.
- **Descripción de la Medida:** Implantación de un corredor verde a lo largo de avenidas principales para mejorar la conectividad entre espacios verdes, reducir el efecto de las superficies de concreto y asfalto, y brindar sombra.
- **Responsable:** Autoridad ambiental y Planeación Urbana.
- **Tipo de Árbol:** *Ficus benghalensis*.
- **Tamaño:** Árboles de gran porte, altura de 10-15 metros.
- **Número de Árboles para Mitigar ICU:** 150 árboles distribuidos a lo largo de 3 kilómetros de corredor.

##### **Estrategia 2: Parques de Sombra en Zonas Comerciales**

- **Línea de Actuación:** Mejora de espacios verdes en áreas de alta densidad de personas.
- **Descripción de la Medida:** Crear áreas de sombra con árboles de copas anchas en las zonas comerciales de Riomar para reducir la radiación directa y el calor en las áreas de mayor tránsito peatonal.
- **Responsable:** Alcaldía Local de Riomar.

- **Tipo de Árbol:** Ceiba (Ceiba pentandra).
- **Tamaño:** Árboles de gran tamaño, altura de hasta 25 metros.
- **Número de Árboles para Mitigar ICU:** 100 árboles en las principales plazas y calles comerciales.

### **Estrategia 3: Jardines Verticales en Edificios Públicos**

- **Línea de Actuación:** Integración de infraestructura verde en edificios.
- **Descripción de la Medida:** Instalación de jardines verticales en edificios administrativos de Riomar, aumentando la cobertura vegetal y mejorando el aislamiento térmico de las edificaciones.
- **Responsable:** Empresa de Desarrollo Urbano y Edificaciones Públicas.
- **Tipo de Planta:** *Ficus benjamina* o (*Ficus pumila*).
- **Tamaño:** Cobertura media, plantas de crecimiento vertical.
- **Número de Plantas para Mitigar ICU:** 200 metros cuadrados de jardines verticales en tres edificios.

### **Estrategia 4: Bosques Urbanos de Barrio**

- **Línea de Actuación:** Reforestación en espacios residenciales.
- **Descripción de la Medida:** Creación de mini-bosques urbanos en áreas residenciales, con especies nativas, para promover el enfriamiento local y el aumento de la biodiversidad.
- **Responsable:** Junta de Acción Comunal y Secretaría de Ambiente.
- **Tipo de Árbol:** Mango (*Mangifera indica*), Roble (*Tabebuia rosea*).
- **Tamaño:** Árboles de porte medio, altura de 5-8 metros.

- **Número de Árboles para Mitigar ICU:** 50 árboles en cada mini-bosque (10 mini-bosques en total).

#### **Estrategia 5: Techos Verdes en Edificios Comerciales**

- **Línea de Actuación:** Implementación de infraestructura verde en edificaciones privadas.
- **Descripción de la Medida:** Establecer techos verdes en centros comerciales y edificios de oficinas para reducir el efecto de calor en superficies expuestas al sol.
- **Responsable:** Propietarios de edificios y Alcaldía Local de Riomar.
- **Tipo de Planta:** Suculentas y plantas de bajo mantenimiento (Sedum spp.).
- **Tamaño:** Cobertura de baja altura (10-30 cm).
- **Número de Plantas para Mitigar ICU:** 500 metros cuadrados de techos verdes en cada edificio (5 edificios).

## 8. Conclusiones y Recomendaciones

A continuación, se presentan las conclusiones obtenidas del análisis de las islas de calor en la localidad de Riomar, teniendo en cuenta la información de las mediciones de temperatura, las características ambientales y el efecto del arbolado urbano.

- El monitoreo reveló que el día 10 de noviembre registró las temperaturas más altas durante el periodo de estudio, alcanzando los 30.7°C a las 12:00 p.m. y manteniendo altas elevaciones hasta la 1:00 p.m., con una temperatura de 29.6°C. Estos picos de temperatura coinciden con el historial de la ciudad, que muestra que estas horas del mediodía son especialmente calurosas debido a la alta incidencia solar y a las características urbanas del área.
- Se observaron variaciones en las temperaturas diarias, con el 9 de noviembre presentando el registro más bajo de 22.7°C en comparación con el resto de los días. Esto sugiere que la temperatura ambiente en Riomar está influenciada no solo por la hora del día sino también por factores como las condiciones meteorológicas. Durante los días soleados, se registraron temperaturas más altas, mientras que, en días con nubosidad o precipitación, como la madrugada posterior al 10 de noviembre, se observó un descenso moderado en las temperaturas.
- La presencia de árboles como el Mango (*Mangifera indica*) y el Roble Morado (*Tabebuia rosea*) en el parque de las Tres Avemarías mostró tener un impacto positivo en la reducción de las temperaturas. Estas especies, que representan el 15.80% y el 13.10% de la cobertura vegetal respectivamente, ayudan a disminuir la intensidad de las islas de calor mediante la provisión de sombra y el enfriamiento natural por evapotranspiración. Durante el día 10 de noviembre, cuando se registraron las temperaturas más altas, las condiciones

climáticas fueron de baja humedad relativa (28.65%) y una velocidad de viento promedio de 1.07 m/s. Estas condiciones, junto con la alta incidencia solar, contribuyen a intensificar el fenómeno de las islas de calor, especialmente en áreas urbanas densas.

- Los resultados enfatizan la necesidad de estrategias de biodiversidad urbana como corredores verdes y áreas de sombra con árboles de porte alto. Especies como el Mango y el Roble Morado han demostrado ser efectivas para reducir el efecto de las islas de calor, mejorando la calidad del ambiente urbano y proporcionando un entorno más habitable en zonas expuestas a altas temperaturas.

En conclusión, el análisis evidencia que la localidad de Riomar experimenta un fenómeno de isla de calor particularmente fuerte en el mediodía y primeras horas de la tarde. La implementación de arbolado urbano adecuado y de estrategias basadas en biodiversidad son esenciales para mitigar los efectos del calor extremo y mejorar la calidad de vida de los habitantes, especialmente en espacios públicos.

## Bibliografía

- Acosta, M. (2021). *Plantas leñosas: qué son, características y ejemplos*. . Obtenido de Ecología verde: <https://www.ecologiaverde.com/plantas-lenosas-que-son-caracteristicas-y-ejemplos-3300.html>
- Akbari, H. P. (2001). Cool Surfaces and Shade Trees to Reduce Energy Use and Improve Air Quality in Urban Areas. *Solar Energy*, 295–310.
- Almeida, S., Silva, A., Garcia, S., Henriques, E., & Miranda, M. (2014). *Traffic-related air pollution in an industrial area*. 683–694. Obtenido de <https://doi.org/10.2495/EID140581>
- Amato, F., Pandolfi, M., Viana, M., Querol, X., Alastuey, A., & Moreno, T. (Agosto de 2009). *Spatial and chemical patterns of PM10 in road dust deposited in urban environment*. Obtenido de *Atmospheric Environment*, 43(9), 1650–1659. : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135223100801131X?via%3Dihub>
- Andalucía. (2023). *Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología — Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades*. Obtenido de Junta de Andalucía Consejería de la Universidad investigación e innovación : <https://losenlacesdelavida.fundaciondescubre.es/que-es-la-biodiversidad/preguntas/que-es-el-efecto-albedo/>
- Araujo, J. (2011). *Particulate air pollution, systemic oxidative stress, inflammation, and atherosclerosis*. Obtenido de *Air Quality, Atmosphere & Health*, 4(1), 79–93.: <https://doi.org/10.1007/s11869-010-0101-8>

Arciniénagas, C. (2012). *DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES Y FRACCIÓN RESPIRABLE PM10\**.

Manizales : Scielo.

Arroyave, M. P. (2018). Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el valle de Aburrá. 5-16. doi:<https://doi.org/10.14483/2256201x.13695>

Azhari, A., Abdul, N. D., Othman, M., Latif, M., Juneng, L., Sofwan, N. M., . . . Johnson, K. (2021). *Highly spatially resolved emission inventory of selected air pollutants in Kuala Lumpur's urban environment*. Obtenido de Atmospheric Pollution Research, 12(2), 12–22.: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.10.004>

Barranquilla, A. d. (2022). *Localidades* . Obtenido de <https://www.barranquilla.gov.co/descubre/conoce-a-barranquilla/territorio#:~:text=Localidad%20Riomar,Se%20encuentra%20ubicada%20dentro%20de%20los%20siguientes%20l%C3%ADmites%20al%20norte,y%20al%20arroyo%20de%20la>

Barranquilla, A. d. (14 de septiembre de 2022). *Vive la noticia*. Obtenido de <https://www.barranquilla.gov.co/secretaria-general-del-distrito/barranquilla-estrena-cuarta-estacion-de-monitoreo-para-medir-y-analizar-la-calidad-del-aire>

BARRANQUILLA, D. E. (2000). Obtenido de file:///D:/Documentos/Downloads/3187-13.pdf

BarranquillaVerde. (22 de Junio de 2020). *Barranquilla Verde, declara estado de prevención por calidad de aire en el DEIP Barranquilla*. Obtenido de EPA: <https://barranquillaverde.gov.co/noticias-detalle/epa-barranquilla-verde-declara-estado-de-prevencion-por-calidad-de-aire-en-el-deip-barranquilla#>

Bejarano, D. G. (2018). *Inventario arbóreo en ecosistemas de páramo a partir de técnicas de percepción remota*. Obtenido de Universidad del Valle. Cali, Colombia.:

<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/f89698d0-4887-4fcf-8a7a-559bb9dcdd31/content>

Bowler, D. E.-A. (2010). Urban Greening to Cool Towns and Cities: A Systematic Review of the Empirical Evidence. *Landscape and Urban Planning*, 147–155.

Camacho, A., & Elian, D. (2012). *Impacto ambiental generado por el material particulado, sobre la calidad del aire en la zona de influencia de los proyectos carbonífero del Departamento del Cesar*. Cesar: Javeriana.

Cañas, R. (25 de Marzo de 2016). *GOV.CO*. Obtenido de Gobernación del Atlántico: <https://atlantico.gov.co/index.php/noticias-infraestructura-84126/6668-en-mayo-gobernacion-del-atlantico-culminara-corredor-vial-de-juan-mina>

Cardona, K. B. (2019). Arbolado urbano como estrategia de gestión de la calidad del aire. Obtenido de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/15906>

Celis, J., Morales, J. ,, Zaror, C., & Carvacho, O. (2007). *Contaminación del aire atmosférico por material particulado en una ciudad intermedia: El caso de Chillán (Chile)*. . Obtenido de *Informacion Tecnologica*, 18(3), 49–58.: <https://doi.org/10.4067/s0718-07642007000300007>

Cepeda, A. (30 de Septiembre de 2021). *¿Cuál es la calidad del aire que se respira en Barranquilla?* Obtenido de contexto : <https://contexto.com/cual-es-la-calidad-del-aire-que-se-respira-en-barranquilla/#:~:text=En%20la%20atm%C3%B3sfera%20de%20la,y%20llegar%20al%20torrente%20sangu%C3%ADneo%2C>

Colombia., C. d. (1993). *Ley 99 de 1993*.

COMDE-DERENDA. (2022). *COMDE-DERENDA*. Obtenido de Air Pollution Monitor APM-2: <https://www.comde-derenda.com/en/products/apm-2/>

- Controls, W. (2024). *Estación meteorológica Vantage Vue 6250*. Obtenido de <https://www.technometrik.com/index.php/vantage-vue-modelo-compacto-detail.html>
- Coral, D. E. (2013). *Metodología de evaluación de la isla de calor urbana y su utilización para identificar problemáticas energéticas y de planificación urbana*. Obtenido de UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA: <https://zaguan.unizar.es/record/11748/files/TESIS-2013-081.pdf>
- Corzo, G. T. (2007). Manejo del arbolado urbano en Bogotá. territorios. (16-17), 149-173.
- Criollo, S. (8 de Octubre de 2018). *Evaluación de la cobertura vegetal de los parques del programa de adopción de parques y zonas verdes de la ciudad de Cali como estrategia para la mitigación de islas de calor*. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/72190df3-b2f9-4617-a5d0-b33d865b14a4/content>
- Delgado, A., & Aguirre, A. (2019). *Air Quality level Assessment through the Grey Clustering Analysis on Lima, Peru*. Obtenido de 2019 IEEE XXVI International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON): <https://doi.org/10.1109/INTERCON.2019.8853588>
- EEA/EMEP-CORINAIR. (2009). Atmospheric emission inventory guidebook. *EEA Technical Report 9/2009*.
- EPA. (23 de Mayo de 2022). *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*. Obtenido de Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente: <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>
- EPA. (2024). *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*. Obtenido de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/las-islas-de-calor>

EPA. (30 de mayo de 2024). *Agencia De Protección Ambiental De Los Estados Unidos*.

Obtenido de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/mantenerse-fresco-como-pueden-las-comunidades-reducir-el-efecto-de#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20causa%20la%20formaci%C3%B3n%20de,efecto%20de%20isla%20de%20calor>.

Fonseca, G. (2021). Bio -grafía Escritos sobre la Biología y su Enseñanza. *BIO-PONENCIAS* (págs. 1-12). Colombia: BIO-PONENCIAS.

Fuentes, c. (2014). *Islas de calor urbano en Tampico, México. Impacto del microclima a la calidad del hábitat*. Obtenido de Nova scientia :  
<https://www.redalyc.org/pdf/2033/203332667024.pdf>

Gago, E. J.-T. (2013). he City and Urban Heat Islands: A Review of Strategies to Mitigate Adverse Effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 749–758.

Gálvez, S. D. (2022). *Análisis de la isla de calor urbana: Nuevos métodos y tecnologías* . Obtenido de Intituto de Ingenieria UNAM: <https://www.iingen.unam.mx/es-mx/AlmacenDigital/Gaceta/Gaceta-enero-febrero-2022/Paginas/analisis-isla-calor-urbana.aspx>

García, J., & Grutter, D. (2007). *Evaluación del riesgo por contaminantes criterios* . Juárez: Int. Contam. Ambient.

García, J., Grutter, M., & Cintora, D. (2007). Ciudad De Mexico: Rev. Int. Contam. Ambient.

García, J., Mar, B., & Ruiz, L. (2018). *Modelo de distribución espacial, temporal y de especiación del inventario de emisiones de México (año base 2008) para su uso en modelización de calidad del aire (DiETE)*. Mexico: Revista internacional de contaminación ambiental.

- García, M., Sánchez, M., De los Rios, A., Pérez, I. A., Pard, N., & Fernández, B. (2019). *Analysis of PM10 and PM2.5 Concentrations in an Urban Atmosphere in Northern Spain*. Obtenido de Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 76(2), 331–345: <https://doi.org/10.1007/s00244-018-0581-3>
- Giménez, R. R. (2009). La ciudad y la biodiversidad urbana. *Observatorio de Medio Ambiente Urbano (OAMU)*.
- Gomez, M. &. (2022). Percepción de servicios ecosistémicos de parque urbanos en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *INNOVACIÓN MÁS DESARROLLO*, XI, 2007-6703. Obtenido de <http://148.222.11.200/jspui/bitstream/123456789/3754/1/10.31644.IMASD.30.2022.a07.pdf>
- GOV.CO. (14 de Septiembre de 2022). *Alcaldá de Barranquilla*. Obtenido de Barranquilla estrena su cuarta estación de monitoreo para medir y analizar la calidad del aire: <https://www.barranquilla.gov.co/secretaria-general-del-distrito/barranquilla-estrena-cuarta-estacion-de-monitoreo-para-medir-y-analizar-la-calidad-del-aire>
- Group., C. C. (2020). *Good Practice Guides: Cool Cities*.
- Gui, Z.-H., Yang, B.-Y., Zou, Z.-Y., Ma, J., Jing, J., Wang, H.-J., . . . Chen, Y.-J. (2020). *Exposure to ambient air pollution and blood lipids in children and adolescents: A national population based study in China*. Obtenido de Environmental Pollution, 266, 115422.: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115422>
- Gutiérrez, M., & Benavides, D. (2022). *ANÁLISIS CRÍTICO DEL CONCEPTO DE ECOLOGÍA URBANA*. Bogotá: Facultad de Ciencias Básicas.
- Hernandez, J. (23 de Agosto de 2021). *Minsalud comprometido con la calidad del aire*. Obtenido de MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL :

<https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Minsalud-comprometido-con-la-calidad-del-aire-.aspx>

Hooper, L. ., Joven, M. T., Keller, J. ., Szpiro, A. A., O'Brien, K. M., Sandler, D. P., . . .

Londres, S. . (febrero de 2018). *Ambient Air Pollution and Chronic Bronchitis in a Cohort of U.S. Women*. Obtenido de Environmental Health Perspectives, 126(2), 027005:  
<https://doi.org/10.1289/EHP2199>

Huyen, T. ., Oanh, N. T., Huy.Lai, N., Winijkul, W., & Chi, N. N. (agosto de 2022). *Impact of lowering fuel sulfur content on atmospheric emissions from shipping activities in a World Heritage Bay in Vietnam*. Obtenido de Environmental Technology & Innovation:  
[sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186422001213?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186422001213?via%3Dihub)

ICLEI. (2003). *Green Cities Declaration*.

IDEAM. (s.f.). *CALIDAD DEL AIRE*. Obtenido de MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE : <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>

Idrobo, M., & Hernandez, F. (2009 ). *Islas de Calor Urbano ICU*. Obtenido de <https://giper.univalle.edu.co/productos/ISLAS%20DE%20CALOR%20URBANO%20ICU.pdf>

Infinitia. (2024). *Infinitia > Laboratorio de ingeniería industrial > Propiedades térmicas*. Obtenido de <https://www.infinitiaresearch.com/laboratorio-ingenieria-industrial/propiedades-termicas/>

Jimenez, L., & Moreno, J. (2019). *Evaluación De Las Concentraciones De Material Particulado PM10 Y PM2.5 En El Casco Urbano Del Municipio De Vijesvalle Del Cauca*. Obtenido de 2019 Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública (CASAP): <https://doi.org/10.1109/CASAP.2019.8916694>

Kim Y., B. (2005).

Spatial and temporal structure of the urban heat island in Seoul. . *Journal of Applied Meteorology*, 44: 591-605.

Klysik K., F. (1999). Temporal and spatial characteristics of the urban island of Lodz, Poland.

*Atmospheric Environment*,, 3885-3895. .

Lahaus. (2021). Obtenido de lahaus.com/blog/zonas/riomar-como-opcion-vivir

Lastra, F. H. (s.f de s.f de s.f). *AMBIENTE, IDENTIDAD Y DESARROLLO: Percepciones locales sobre las transformaciones ambientales en el Corregimiento de Juan Mina*. Obtenido de <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0064389.pdf>

Lemonsu, A. (2002). Simulation of summer urban breeze over Paris.

*Boundary Layer Meteorology*, 463-490.

Ljungman, P. L., Andersson, n., Stockfelt, L., Andersson, E. M., Sommar, J. N., Eneroth, C., . . .

Wenberg. (2019). *Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution, Black Carbon, and Their Source Components in Relation to Ischemic Heart Disease and Stroke*. Obtenido de *Environmental Health Perspectives*, 127(10), 107012. : <https://doi.org/10.1289/EHP4757>

Lopez, A. (5 de marzo de 2022). *Barranquilla tiene 1.274.250 habitantes: 52% son mujeres*.

Obtenido de <https://miredvista.co/barranquilla-tiene-1-274-250-habitantes-52-son-mujeres-22234>

MADS. (2017). Resolución 2254. *Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible*, 1-11.

MAVDT. (1974). *MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL*, 1-64.

MAVDT. (1993). *MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL*, 1-59.

MAVDT. (2008). Resolución 909. *MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL*, 1-36.

Mendoza, M. (2021). *Evaluación de la afectación ambiental y enfermedades respiratorias asociadas al contaminante atmosférico NO2 en Barranquilla mediante la aplicación de programa y tecnología*. Barranquilla: Uninorte.

Minambiente. (01 de Noviembre de 2017). *Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible*.

Obtenido de Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible:

[https://minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res2254 de 2017.pdf](https://minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res2254%20de%202017.pdf)

Narvaez, I., & Ruiz, M. (27 de Mayo de 2013). *Identificación y propuesta de estrategias de mitigación del efecto isla de calor para una localidad del distrito capital*. Obtenido de <https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/3175/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Oke, T. R. (1982). The Energetic Basis of the Urban Heat Island. . *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1–24.

OMS. (22 de septiembre de 2021). *organizacion mundial de la salud*. Obtenido de

[https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

ONU. (4 de Abril de 2022). *El 99% de la población mundial respira aire contaminado*. Obtenido de Noticias ONU Mirada global Historias humanas:

<https://news.un.org/es/story/2022/04/1506592>

OPS. (2018). *Organizaación Panamericana de la Salud*. Obtenido de Contaminación del aire ambiental exterior y en la vivienda: Preguntas frecuentes:

<https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire-salud/contaminacion-aire-ambiental-exterior-vivienda-preguntas-frecuentes>

Organization., W. H. (1997). *Healthy Cities Programme*.

Palacio, c. (2019). *MEDIDAS DE ADAPTACIÓN/MITIGACIÓN ANTE ISLAS DE CALOR EN*

*EL VALLE DE ABURRA* . Obtenido de

<https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/d3ff8ba6-dc90-4fd1-89c3-530177bc05dc/content>

PCE. (2019). *PCE Instruments*. Obtenido de [https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-](https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/que-estacion-meteorologica.htm)

[tecnicos/que-estacion-meteorologica.htm](https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/que-estacion-meteorologica.htm)

Perez, W. (2023). *Efecto de isla de calor superficial y su relación con la cobertura del suelo*

*para las ciudades de Barranquilla y Sincelejo en los años 2002 y 2018*. Obtenido de

<https://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/12876/1005567620.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Priego Gonzalez de Canales, C. (2002). Beneficios del arbolado urbano.

Ramos, D. &. (2023). Evaluación Del Servicio Ecosistémico De Remoción De Material

Particulado PM10 Y PM2.5 Por El Arbolado Urbano De La Ciudad De Barranquilla En

El Año 2019. . Barranquilla, Colombia: Corporación Universitaria Reformada.

Rhodes, M. (2012). *IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE TECHO VERDE Y SU*

*BENEFICIO TÉRMICO EN UN HOGAR DE HONDA, TOLIMA (COLOMBIA)*. Obtenido

de Bibliotecas Pontificia Universidad Javeriana:

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8985/RhodesValbuenaMateod2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rincón, E., & Gutiérrez, O. (2021). *Dispositivo para la medición de contaminantes criterio en la*

*atmósfera bogotana, mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado (Dron)*. Bogotá:

Udistrital.

Ríos, Y. (2022). Captura de material particulado en puntos críticos del Valle de Aburrá por parte de la vegetación urbana en relación con sus rasgos funcionales. *Universidad EIA, Colombia*. Obtenido de <https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/d05a4c30-c0e8-48f1-9245-6a62384a3cee/content>

Rizwan A., D.

(2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of environmental science*, 120-128.

Rojano, R., Angulo, L., & Restrepo, G. (2013). *Niveles de Partículas Suspendidas Totales (PST), PM10 y PM2.5 y su Relación en Lugares Públicos de la Ciudad Riohacha, Caribe Colombiano*. Obtenido de *Información Tecnológica*, 24(2), 37–46:  
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000200006>

Rojas, D., Salazar, J., Montoya, D., & Muñoz, É. (21 de Febrero de 2020). *Problemática de la contaminación del aire en Colombia*. Obtenido de *Revista Ambiental ÉOLO*:  
<http://revistaeolo.fconvida.org/index.php/eolo/article/view/12>

San Jose R., P. J. (2013). Application of a Lagrangian particle model to the source apportionment for primary macropollutants in Taranto area (South Italy). *Environmental Software and Modelling Group, Conference*.

Sánchez, D. (5 de Noviembre de 2021). *¿Qué son los equipos de monitoreo ambiental?* Obtenido de Biosupport International: <https://www.biosoporteperu.com/equipos-monitoreo-ambiental/>

Sánchez, D. (5 de Noviembre de 2021). *Biosupport International*. Obtenido de Biosupport Perú:  
<https://www.biosoporteperu.com/equipos-monitoreo-ambiental/>

Santamouris, M. (2015). An Analysis of the Heat Island Magnitude and Associated Impacts on Cooling Demand and Urban Pollution. *Energy and Buildings*, 98, 119–124.

- Santilla, P., Rodríguez, M., Orozco, J., Ríos, I., & Bayas, K. (2021). *Evaluación de la concentración y distribución espacial de material particulado en los campus de la UNACH-Riobamba*. Chimborazo: Revista Digital Novasinergia.
- Serrano, G. (2022). *Diagnóstico Del Arbolado Urbano En El Distrito De Barranquilla*. E.P.A *Barranquilla Verde*. Obtenido de EPA Barranquilla Verde:  
<https://barranquillaverde.gov.co/storage/app/media/silvicultura-urbana/DIAGNOSTICO%20DEL%20ARBOLADO%20URBANO%20EN%20EL%20DISTRITO%20DE%20BARRANQUILLA.pdf>
- Soto, E. (Junio de 2018). *ESTIMACIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANA EN MEDELLÍN, COLOMBIA*. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v35n2/0188-4999-rica-35-02-421.pdf>
- Soto, Engelberth. (2018). *ESTIMACIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANA EN MEDELLÍN, COLOMBIA*. Medellín: Rev. Int. Contam. Ambie.
- Terradas, J. F. (2011). *Ecología urbana. Investigación y ciencia*,.
- TIEMPO, E. (26 de Octubre de 2021). Zona Franca La Cayena recibe prórroga por 30 años más para operar. *EL TIEMPO*, págs. 1-5.
- Tovar, G. (2017). *Manejo del arbolado urbano en Bogotá*. Bogotá: Territorios.
- Tumini, I. (2020). *Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso de Madrid*. Madrid: Academia.
- Unidas, N. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*.
- Vargas, T. (2021). Efecto de la vegetación en el nivel de contaminación atmosférica generada por material particulado en cañones urbanos. Obtenido de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/20033>

- Vásquez, J. A., Ortíz, E. Y., Sáenz, H., Blanco, K., & Gomez, D. (2021). *Spatial-Temporal Estimation And Disaggregation Of Criteria Pollutants And Black Carbon Emissions From Stationary Industrial Sources In Bogotá*. Obtenido de 2021 Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública (CASAP), 1–4.:  
<https://doi.org/10.1109/CASAP54985.2021.9703395>
- Ward-Caviness, C. K., Nwanaji-Enwerem, J. C., Wolf, K., Wahl, S., Colicino, E., Trevisi, L., . . . Peters, A. (2016). *Long-term exposure to air pollution is associated with biological aging*. *Oncotarget*, 7(46), 74510–74525. Obtenido de <https://doi.org/10.18632/oncotarget.12903>
- Westreicher, G. (14 de Agosto de 2020). *Economipedia.com*. Obtenido de Análisis de datos:  
<https://economipedia.com/definiciones/analisis-de-datos.html>
- Zavaleta, M., Díaz, E. V., Morales, H., & Narcizo, G. (22 de Diciembre de 2020). *Urbanización y su relación con la isla de calor en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/era/v7n2/2007-901X-era-7-02-e2485.pdf>
- Zuluaga, S., Londoño, F., Parra, E., Arango, L., & Salazar, J. (2023). *El impacto de la arborización como estrategia de mitigación de la isla de calor urbana en el Caribe colombiano*. Obtenido de Arquitectura y urbanismo:  
<https://www.redalyc.org/journal/3768/376875648004/376875648004.pdf>