

APORTE DEL HUMEDAL EL CHARCO-OASIS A LA REGULACIÓN TÉRMICA POR  
MEDIO DEL ANÁLISIS DE VARIABLES MICROCLIMÁTICAS Y DE COBERTURA EN  
VILLAVICENCIO



JOHN SEBASTIAN BUITRAGO AMAYA  
SHIRLEY KATHERIN LÓPEZ MUÑOZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
VILLAVICENCIO

2021

APOORTE DEL HUMEDAL EL CHARCO-OASIS A LA REGULACIÓN TÉRMICA POR  
MEDIO DEL ANÁLISIS DE VARIABLES MICROCLIMÁTICAS Y DE COBERTURA EN  
VILLAVICENCIO

JOHN SEBASTIAN BUITRAGO AMAYA  
SHIRLEY KATHERIN LÓPEZ MUÑOZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Asesora:  
ANGÉLICA MARÍA BUSTAMANTE ZAPATA  
ING. Ambiental, ESP. Gerencia de Proyectos

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
VILLAVICENCIO

2021

**Autoridades Académicas**

**P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O.P.**

Rector General

**P. EDUARDO GONZÁLEZ GIL, O.P.**

Vicerrector Académico General

**P. JOSE ANTONIO BALAGUERA, O.P.**

Rector Sede Villavicencio

**P. RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.**

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

**MG. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN**

Secretaria de División Sede Villavicencio

**YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN**

Decano Facultad de Ingeniería Ambiental

**Nota De Aceptación**

---

---

---

---

---

**YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN**

Decano de Facultad

---

**ANGÉLICA MARIA BUSTAMANTE ZAPATA**

Director Trabajo de Grado

---

**RODRIGO ISAAC VELOSA CAICEDO**

Jurado

---

**LEYDY JOHANNA ARBOLEDA MONTES**

Jurado

Villavicencio, abril de 2021

## **Agradecimientos**

En primer lugar, damos gracias a Dios por permitirnos lograr nuestra meta, a nuestros padres por brindarnos la mejor educación y apoyo incondicional para poder convertirnos en ingenieros ambientales.

De igual forma, agradecemos a nuestros docentes por el acompañamiento durante los años de formación profesional, principalmente a nuestra directora la Ingeniera Angélica María Bustamante Zapata, por brindarnos su tiempo, conocimientos y confiar en nosotros en todo el proceso del desarrollo de nuestro trabajo de grado.

## Contenido

|                                                                                                                                 | Pág. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Resumen .....                                                                                                                   | 11   |
| Abstract .....                                                                                                                  | 13   |
| 1. Introducción.....                                                                                                            | 15   |
| 2. Planteamiento del problema .....                                                                                             | 17   |
| 2.1. Descripción del problema .....                                                                                             | 17   |
| 3. Objetivos .....                                                                                                              | 19   |
| 3.1. Objetivo general .....                                                                                                     | 19   |
| 3.2. Objetivos específicos .....                                                                                                | 19   |
| 4. Justificación.....                                                                                                           | 20   |
| 5. Alcance del proyecto.....                                                                                                    | 22   |
| 6. Antecedentes.....                                                                                                            | 23   |
| 7. Marco de referencia .....                                                                                                    | 26   |
| 7.1. Marco teórico.....                                                                                                         | 26   |
| 7.1.1. Importancia de los humedales.....                                                                                        | 26   |
| 7.1.2. Función de los humedales.....                                                                                            | 27   |
| 7.1.3. Beneficios de los humedales urbanos.....                                                                                 | 27   |
| 7.1.4 Servicios ecosistémicos de los humedales.....                                                                             | 27   |
| 7.2. Marco conceptual.....                                                                                                      | 28   |
| 7.3. Marco legal.....                                                                                                           | 30   |
| 8. Metodología.....                                                                                                             | 33   |
| 8.1. Fase I: Reconocimiento y cuantificación de la cobertura actual en la zona de estudio del humedal el Charco-Oasis .....     | 33   |
| 8.2. Fase II: Variables meteorológicas y el Sky View Factor (SVF) asociadas al tipo de cobertura .....                          | 35   |
| 8.3. Fase III: Evaluación de la relación de las variables meteorológicas y el Sky View Factor (SVF) de la zona de estudio ..... | 38   |

|      |                                                                                                                                                                   |    |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 9.   | Resultados y análisis .....                                                                                                                                       | 41 |
| 9.1. | Fase I: Reconocimiento y cuantificación de la cobertura e intervención actual en el humedal el Charco-Oasis .....                                                 | 41 |
| 9.2. | Fase II: Variables meteorológicas y el Sky View Factor (SVF) en zonas del interior y circunvecinas asociadas a cada tipo de cobertura de la zona de estudio ..... | 43 |
| 9.3. | Fase III: Relación de la cobertura con las variables meteorológicas y el Sky View Factor (SVF) 50                                                                 |    |
| 10.  | Discusión de resultados .....                                                                                                                                     | 60 |
| 11.  | Impacto social y humanístico .....                                                                                                                                | 63 |
| 12.  | Conclusiones .....                                                                                                                                                | 64 |
| 13.  | Recomendaciones .....                                                                                                                                             | 67 |
| 14.  | Bibliografía .....                                                                                                                                                | 69 |
| 15.  | Anexos .....                                                                                                                                                      | 75 |

## Lista de tablas

|                                                                                                  | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabla 1. Normatividad ambiental sobre humedales en Colombia. ....                                | 31   |
| Tabla 2. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra - Colombia. ....                            | 34   |
| Tabla 3. Clasificación del coeficiente en función del grado y tipo de correlación. ....          | 39   |
| Tabla 4. Análisis preliminar de Coberturas. ....                                                 | 42   |
| Tabla 5. SVF y ubicación geográfica de los puntos de monitoreo del Humedal Charco-Oasis....      | 45   |
| Tabla 6. Diagramas de línea de las variables Ta, RH y SVF. ....                                  | 49   |
| Tabla 7. Estadística descriptiva de los puntos de monitoreo de la zona de estudio y coberturas.. | 50   |
| Tabla 8. Correlación de las variables de Ta Vs RH, SVF Vs $\Delta T_a$ y SVF Vs WTI. ....        | 52   |
| Tabla 9. Ecuaciones de la recta de Ta Vs RH, SVF Vs $\Delta T_a$ y SVF Vs WTI. ....              | 53   |

## Lista de Figuras

Pág.

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Delimitación del Área de Recreación Parque Ecológico Humedal El Charco-Oasis en la Ciudad de Villavicencio .....                   | 22 |
| Figura 2. Línea del tiempo de la evolución del estudio de la regulación térmica .....                                                        | 25 |
| Figura 3. Interpretación de la metodología Corine Land Cover adaptada a Colombia de pastos limpios (231) y pastos enrastrados (233) .....    | 34 |
| Figura 4. Ejemplo de una fotografía de ojo de pez en forma cuadrada como lo requiere RayMan, en formato mapa de bits (bmp) .....             | 36 |
| Figura 5. Fotografía de ojo de pez cargada en la ventana “Edit free sky view factor” con partes del cielo recortadas .....                   | 36 |
| Figura 6. (a) Imagen de ojo de pez renderizada para visualización y (b) Imagen de ojo de pez renderizada para el cálculo de SVF.....         | 37 |
| Figura 7. Delimitación del Humedal el Charco-Oasis .....                                                                                     | 41 |
| Figura 8. Mapa de las coberturas en zonas del interior y circunvecinas del Humedal el Charco-Oasis.....                                      | 43 |
| Figura 9. Mapa de los puntos de monitoreo por cobertura del Humedal el Charco-Oasis .....                                                    | 44 |
| Figura 10. Gráficas de dispersión y línea de tendencia de $T_a$ Vs $RH$ , $SVF$ Vs $\Delta T_a$ y $SVF$ Vs $WTI$ de la zona de estudio ..... | 54 |
| Figura 11. Mapa de influencia de las variables meteorológicas y el $SVF$ con relación a las coberturas del Humedal el Charco-Oasis .....     | 55 |
| Figura 12. Índice térmico de humedales ( $WTI$ ) en diferentes radios de amortiguación del humedal urbano el Charco-Oasis .....              | 56 |
| Figura 13. Mapa del potencial de regulación térmica del Humedal el Charco-Oasis.....                                                         | 58 |

## Anexos

Pág.

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo A. Codificación de las unidades de coberturas de la tierra de acuerdo con la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia ..... | 75 |
| Anexo B. Formato de Medición de Variables .....                                                                                               | 76 |
| Anexo C. Estadística descriptiva de los puntos de monitoreo.....                                                                              | 77 |
| Anexo D. Cálculo del índice térmico de humedales (WTI).....                                                                                   | 79 |
| Anexo E. Regresión lineal y ecuaciones de la recta de Ta Vs RH, SVF Vs $\Delta T_a$ y SVF Vs WTI de las FH, coberturas y zona de estudio..... | 79 |
| Anexo F. Gráficas de dispersión y línea de tendencia de la correlación de Ta Vs RH, SVF Vs $\Delta T_a$ y SVF Vs WTI .....                    | 80 |

## Resumen

Este proyecto se desarrolló en el área de recreación el Humedal El Charco-Oasis, ubicado en la parte sureste de la ciudad de Villavicencio y en la vía principal que conduce al municipio de Puerto López, donde se presentan varios impactos sobre este ecosistema, debido a las actividades antropogénicas que se exhiben tales como: la deforestación, pérdida del paisajismo, cambio en el uso del suelo, invasión por la presión urbanística. Este proyecto planteó, una propuesta para determinar el aporte que brinda el humedal en la regulación de la temperatura en un sector de Villavicencio. Para esto, se llevó a cabo el reconocimiento de la cobertura y la intervención de la zona de estudio mediante la metodología Corine Land Cover. Luego, se hizo la medición de la variación de la temperatura del aire ( $T_a$ ) y humedad relativa (RH) por puntos de monitoreo en cada cobertura de forma aleatoria, identificando un promedio por hora, en la franja horaria (FH) de 10:00am a 3:00pm, además se tomó fotografías ojo de pez para calcular el Sky View Factor (SVF) con el software RayMan que determina la incidencia de radiación solar. Posteriormente, se realizó un análisis de estadística descriptiva de las variables meteorológicas, y se halló  $\Delta T_a$  para demostrar el aumento de temperatura y el Índice de regulación térmica (WTI) que identifica el potencial de regulación del humedal en la zona urbana. A partir de los datos arrojados, se realizó un análisis de correlación de Pearson y Spearman que determina como se asocian e interactúan las variables, seguido de un análisis de regresión lineal de la cual se obtuvo la ecuación de la recta. Por último, se elaboró un mapa que muestra el aporte del potencial de regulación térmica del Humedal el Charco-Oasis.

Los resultados de la investigación muestran que en la zona de estudio intervienen tres tipos de cobertura, que corresponden a: Tejido Urbano Discontinuo - TUD (5,677 ha), Pastos Limpios - PL (2,296 ha) y Bosques Fragmentados - BF (5,238 ha). También, se observó que las FH establecidas de las variables  $T_a$  y RH, cuentan con una variación cada hora en los lapsos de medición y una diferencia en las coberturas. Además, se determinó que la incidencia de radiación solar en la cobertura BF es menor en relación con las coberturas de TUD y PL, con un máximo de 22,6% según los datos obtenidos de SVF. Después, se evidenció que la  $T_a$  y RH actúan de forma inversamente proporcional conforme a la distribución de los datos. Asimismo, se analizó que las variables tienen un alto grado de confiabilidad, para las correlaciones de  $T_a$  vs RH, SVF vs  $\Delta T_a$  y

SVF vs WTI, respecto a sus FH y coberturas. Finalmente, se identificó que cuanto mayor es el WTI, más notable es la regulación térmica del humedal. Concluyendo que el Humedal urbano el Charco-Oasis está aportando a la regulación térmica entre 2,7°C - 3,4°C a una distancia de 90 metros al sur de forma discontinua, por el TUD que incide en su reducción del aporte continuo de regulación térmica.

**Palabras clave:** Cobertura, Factor de cielo visible, Humedal, Índice térmico de humedales, Servicio ecosistémico.

## Abstract

This project was developed in the Charco-Oasis Wetland recreation area, located in the southeastern part of the city of Villavicencio and on the main road that leads to the municipality of Puerto López, where there are several impacts on this ecosystem, due to the anthropogenic activities that are exhibited such as: deforestation, loss of landscaping, change in land use, invasion due to urban pressure. This project raised a proposal to determine the contribution that the wetland provides in the regulation of temperature in a sector of Villavicencio. For this, the coverage recognition and intervention of the study area was carried out using the Corine Land Cover methodology. Then, the variation of air temperature ( $T_a$ ) and relative humidity (RH) by monitoring points in each coverage was randomly measured, identifying an average per hour, in the time band (FH) of 10:00am to 3:00pm, fisheye photographs were also taken to calculate the Sky View Factor (SVF) with the RayMan software that determines the incidence of solar radiation. Subsequently, a descriptive statistical analysis of the meteorological variables was carried out, and  $\Delta T_a$  was found to demonstrate the increase in temperature and the Thermal Regulation Index (WTI) that identifies the regulation potential of the wetland in the urban area. From the data obtained, a Pearson and Spearman correlation analysis was performed, which determines how the variables associate and interact, followed by a linear regression analysis from which the equation of the line was obtained. Finally, a map was drawn up that shows the contribution of the thermal regulation potential of the Charco-Oasis Wetland.

The results of the research show that three types of coverage intervene in the study area, which correspond to: Discontinuous Urban Fabric - TUD (5,677 ha), Clean Pastures - PL (2,296 ha) and Fragmented Forests - BF (5,238 ha). Also, it was observed that the established FH of the variable's  $T_a$  and RH, have a variation every hour in the measurement lapses and a difference in the coverage. In addition, it was determined that the incidence of solar radiation in the BF coverage is lower in relation to the TUD and PL coverage, with a maximum of 22.6% according to the data obtained from SVF. Later, it was shown that  $T_a$  and RH are inversely proportional according to the distribution of the data. Likewise, it was analyzed that the variables have a high degree of reliability, for the correlations of  $T_a$  vs RH, SVF vs  $\Delta T_a$  and SVF vs WTI, regarding their FH and coverage. Finally, it was identified that the higher the WTI, the more notable is the thermal

regulation of the wetland. Concluding that the Charco-Oasis urban wetland is contributing between 2.7°C - 3.4°C at a distance of 90 meters to the south in a discontinuous way, by the TUD that affects its reduction of the continuous contribution of thermal regulation.

**Key words:** Cover, Sky View Factor, Wetland, Wetland Thermal Index, Ecosystem Service.

## 1. Introducción

Los humedales son ecosistemas acuáticos estratégicos, que han sido vulnerados por las actividades antrópicas, disminuyendo a escala mundial, tanto en extensión como en calidad (Ramsar, 2015). Además, estos ecosistemas forman un recurso económico, científico, cultural y recreativo, de gran valor, que desempeñan un papel esencial en la adaptación y atenuación de los efectos ocasionados por el cambio climático, puesto que prestan distintos servicios ecológicos fundamentales, y por lo general, su principal función es ser fuente reguladora de los regímenes hídricos, como también de la biodiversidad (CAR, 2011).

En la actualidad, la recuperación de humedales, reforestación y disminución de otras presiones sobre la naturaleza representa un papel primordial en la absorción y acumulación de carbono, ayudando a la regulación del clima (FAO, 2020). Sin embargo, los servicios ecosistémicos suministrados por los humedales, como en el caso de la regulación térmica, influyen en la calidad del aire y el clima local, reduciendo las temperaturas extremas de los edificios tanto en invierno como en verano (FAO, 2020). Así mismo, las ciudades constituyen el plano inicial de la transformación del paisaje natural, dado que su gran impacto ha alterado la morfología de la superficie, modificando las condiciones ambientales y climáticas de un determinado lugar (Guillen-Mena & Orellana, 2016). Por tanto, la expansión urbanística altera los balances de radiación entre el suelo y el aire, al reducir la evaporación, lo que a su vez disminuye la velocidad del viento y aumenta la escorrentía superficial (Guillen-Mena & Orellana, 2016).

En Colombia actualmente, no se encuentra información de estudios realizados sobre el aporte de un humedal a la regulación térmica de un microclima local como servicio ecosistémico suministrado, al ser estos ecosistemas un referente a estudios principalmente para la parte del recurso hídrico.

De acuerdo al Comité Interinstitucional de Humedales de Villavicencio (COHUVI), hay un total de 200 humedales, de los cuales seis de estos, ya han sido declarados y están bajo el amparo de la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área Manejo Especial la Macarena (Cormacarena), que son los humedales Coroncoro, El Charco-Oasis, Kirpas-Pinilla-La Cuerera, Caracolí, Suria y Calatrava, con el fin de afianzar el seguimiento, actualización y evaluación de

los instrumentos de gestión ambiental, teniendo en cuenta la importancia estratégica que tienen en el desarrollo actual y futuro de la ciudad de Villavicencio (Alcaldía de Villavicencio, 2017).

De esta manera se planteó este proyecto, tomando como zona de estudio el Humedal el Charco-Oasis de la ciudad de Villavicencio al ser un área protegida, analizando la relación de variables climáticas con la cobertura y la importancia de evaluar el servicio que suministra a la comunidad. En última instancia, el análisis de la influencia de este ecosistema puede contribuir a las decisiones de planeación y ordenamiento territorial, en la formulación de instrumentos que aporten a la conservación de estas áreas y obteniendo múltiples beneficios para la ciudad.

## 2. Planteamiento del problema

### 2.1. Descripción del problema

La extensa superficie de ecosistemas estratégicos de humedales que se encuentran en el país son una ventaja para la mitigación y adaptación al cambio climático, como contribución al bienestar humano, para afrontar los efectos del mismo, según reconoce el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (Instituto Humboldt, 2015). Dentro de esto, los humedales ofrecen servicios ecosistémicos gracias a sus características ambientales y componentes naturales, que logran en la subsistencia de la vida humana, desde la valoración de los ecosistemas naturales, el reconocimiento del valor monetario y social, para poder posicionarse en el ámbito urbano (Aguilera Fuenzalida, 2014). Estos ecosistemas influyen en el clima local, al cumplir un papel importante en la prestación del servicio de regulación térmica que aporta a la reducción de temperaturas locales del aire y temperaturas extremas de la urbanización, además de reducir las olas de calor debido a que origina la sucesión de altas temperaturas durante un tiempo prolongado durante la noche (Rosatto, Botta, Becerra, *et al.*, 2016). Asimismo, estos sirven como sumidero del carbono generado en cualquier parte del planeta, ya que el deterioro de estos evitaría la disminución de grandes cantidades de Gases de Efecto Invernadero (GEI), el aumento de retención del calor en la atmósfera y la reducción del calor urbano, pues una de las principales amenazas es la presión urbanística que se evidencia con el sobre el medio físico por el impacto del hábitat construido, debido al crecimiento exponencial de la población (Aguilera Fuenzalida, 2014; Suárez Nieva & García Beltrán, 2018; Moya, Hernández, & Borrell, 2005).

Por ello, los humedales son espacios de gran valor ecosistémico que han sido vulnerados por las actividades antrópicas, y continúa su descenso a un ritmo del 1% anual, tanto que en el último siglo el mundo perdió el 64% de los humedales (Instituto Humboldt, 2015). Frente a esta situación, el área protegida el humedal el Charco-Oasis de la ciudad de Villavicencio es uno de los más afectados por el crecimiento de la ciudad, dada su localización en el corredor urbano industrial vía Puerto López (Suárez Nieva & García Beltrán, 2018). En los últimos 10 años ha disminuido su oferta ambiental y tamaño por intervenciones antrópicas, debido a la construcción de edificaciones en el área de influencia como casas, asaderos, estaciones de servicio, entre otros;

causando cambios que afectan negativamente la biodiversidad y la vida de las especies del humedal (Suárez Nieva & García Beltrán, 2018). Por consiguiente, los motivos que están afectando al humedal son: la deforestación, extinción de especies de flora y fauna, cambio en el uso del suelo, invasión de zona de protección, pérdida del paisajismo y construcciones dentro del humedal (Suárez Nieva & García Beltrán, 2018).

De esta manera, se busca demostrar el aporte significativo que puede brindar el Humedal Charco-Oasis, en relación a la variación de la temperatura del aire y la humedad relativa en el microclima local, a través de la fotointerpretación de la cobertura de la tierra de las zonas de influencia directa e indirecta, para identificar la regulación térmica como servicio ecosistémico suministrado. Por tal motivo, la presente investigación plantea como formulación en torno al problema: ¿Cuál es la variación de la temperatura del aire y la humedad relativa en diferentes puntos en zonas del interior y circunvecinas del humedal el Charco-Oasis de Villavicencio?

### 3. Objetivos

#### 3.1. Objetivo general

Determinar el aporte que brinda el Parque Ecológico Humedal El Charco-Oasis, en la regulación de la temperatura y humedad relativa en un sector de Villavicencio, mediante el análisis de la cobertura y de variables ambientales a microescala.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la zona de estudio a partir de la fotointerpretación para reconocer y cuantificar la cobertura de la tierra y la intervención actual en el humedal el Charco-Oasis.
- Determinar la variación de la temperatura del aire, la humedad relativa y el *Sky View Factor* (SVF) mediante la medición en diferentes puntos de monitoreo en zonas del interior y circunvecinas asociadas a cada tipo de cobertura.
- Evaluar la relación de la cobertura con la temperatura del aire, la humedad relativa y el *Sky View Factor* (SVF), mediante un análisis ambiental.

#### 4. Justificación

El presente documento tiene como finalidad determinar la regulación térmica del humedal Charco-Oasis que brinda como servicio ecosistémico en una zona de la ciudad de Villavicencio. De esta manera, este ecosistema es importante por su contribución entre la comunidad, autoridades ambientales y entes gubernamentales de la población, de allí el interés dispuesto por parte de Cormacarena, en proveer espacios naturales para la investigación científica, interpretación ambiental, educación, valoración social y cultural de la naturaleza, que representan los humedales del piedemonte llanero según lo estipulado en el acuerdo No. PS-GJ.1.2.42.2.11.011 del 2011 (Cormacarena, 2011; Guillen-Mena & Orellana, 2016). Por tanto, se selecciona el humedal Charco-Oasis al ser un ecosistema potencial frente a los amplios servicios ecosistémicos que presta, en especial la regulación gracias a sus atributos biológicos, destacando que su vegetación es esencial para mantener sus funciones ecológicas, además de encontrarse en un área estratégica por estar ubicado cerca de un barrio, una universidad y el anillo vial.

Asimismo, los humedales se relacionan con el ciclo del agua y la productividad primaria, además de incluir servicios de provisión de agua dulce y alimentos que dependen en gran medida de la regulación de la temperatura, también influyen sobre la regulación de la calidad del aire, y la erosión y los flujos de agua (Guillen-Mena & Orellana, 2016). Sin embargo, se sabe que la vegetación que contiene es una fuente y sumidero de GEI, que influye en la temperatura, precipitación y otros procesos climáticos (Guillen-Mena & Orellana, 2016). Después de todo, los árboles ayudan a reducir la temperatura por medio de procesos fisiológicos de la vegetación, eliminando humedad hacia el ambiente y creando sombra durante el proceso de fotosíntesis, que a su vez reduce las concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el ambiente, además la evapotranspiración que elimina el agua acumulada hacia el ambiente al regular la temperatura del aire, pues este proceso se fortalece aún más en el sustrato y en las plantas, por la gran capacidad de almacenamiento de calor del agua existente (Cruz Angón, Rivera Rebolledo, Cabrera Aguirre, *et al.*, 2016). Teniendo en cuenta que en el sector en donde se encuentra ubicado el humedal, la presión que está ejerciendo la urbanización es el principal problema de afectación, lo que a su vez la expansión de la superficie urbana eleva significativamente la temperatura, debido a que el pavimento y concreto absorben mucho calor durante el día, lo que genera por la noche una

deficiencia para disipación del calor (Guillen-Mena & Orellana, 2016). Debido a esto, una consecuencia es la pérdida de cobertura vegetal, que mejora la temperatura ambiente y aumenta la eficacia térmica de la cubierta, por lo que la edificación es beneficiada, al mitigar los efectos de materiales de construcción del área urbana (Guillen-Mena & Orellana, 2016).

Por tal motivo, se vuelve esencial aclarar que, en ninguna ciudad a nivel nacional incluyendo Villavicencio, se ha realizado estudios relacionados sobre el aporte de humedales a la regulación térmica. Por lo anterior, se hace necesario evaluar este servicio que el mismo suministra, para contribuir con información a la toma de decisiones, en la formulación de instrumentos de planeación y de ordenamiento territorial, que aporten en la conservación de estas áreas que brindan múltiples beneficios a la ciudad.

## 5. Alcance del proyecto

El Parque Ecológico Humedal El Charco-Oasis es un área protegida de la ciudad de Villavicencio-Meta, un ecosistema estratégico que corresponde a un bosque de galería secundario considerado un área de recreación, que en su interior se encuentra con el nacimiento del caño Oasis; se ubica en las coordenadas planas: 653775,17 metros al Este y 455891 metros al Norte, y cuenta con un área de 5,05 ha de ronda de protección y 5,69 ha de delimitación para un área total de 10,74 ha (Cormacarena, 2011; Ortiz Moreno, 2018). Limita al suroeste con la Universidad Santo Tomás campus Aguas Claras y la carrera 22 como vía principal que conduce al municipio de Puerto López, al norte con la urbanización Bosques de Vizcaya y al este con la Calle 1 que conforma el anillo vial como se muestra en la Imagen 1 (Cormacarena, 2011; Ortiz Moreno, 2018; Garay J., Garay A., Murillo, *et al.*, 2019). El desarrollo de este trabajo se llevará a cabo en un periodo de 6 meses, con el fin de evaluar la temperatura del aire y la humedad relativa, a través del análisis ambiental espacial, determinando el servicio ambiental de regulación térmica del humedal.

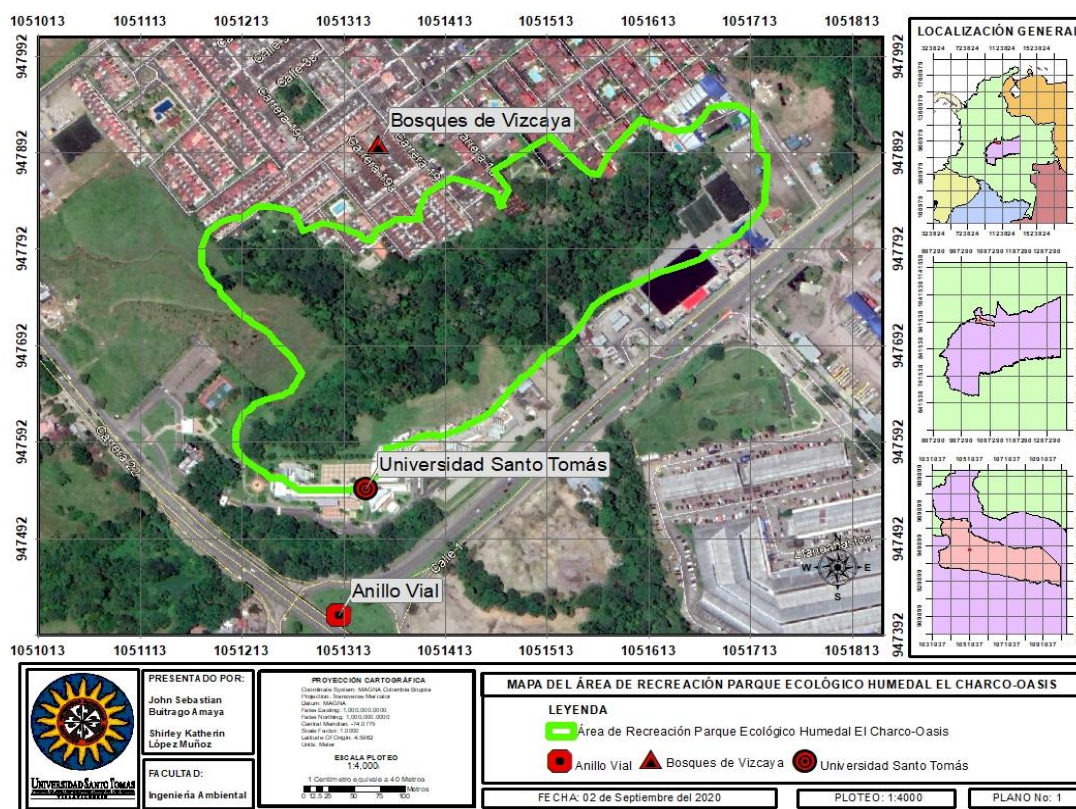


Figura 1. Delimitación del Área de Recreación Parque Ecológico Humedal El Charco-Oasis en la Ciudad de Villavicencio. Por Butrago & López, 2021.

## 6. Antecedentes

El Centro Internacional para Estudios Integrales (ICIS), publicó un artículo en el 2002 donde se determinan los patrones de circulación con la topografía local, vegetación, albedo y regulación térmica. A partir de un marco estandarizado, se abordó la evaluación integral de las funciones, bienes y servicios del ecosistema, proporcionando un análisis comparativo, teniendo en cuenta los aspectos económicos y ecológicos, frente al papel esencial de la regulación y el mantenimiento de procesos ecológicos (De Groot, Matthew A., & Boumans, 2002).

A partir de este y otras investigaciones, se señala la necesidad de realizar estudios que instauren las funciones ecosistémicas de los humedales en materia de la regulación térmica, las cuales se mencionan a continuación:

En este contexto, es importante mencionar que en Beijing en el 2007, a partir de imágenes satelitales y datos estadísticos de los humedales con base a las temperaturas de la superficie terrestre, se estudió la función de la regulación térmica utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG), con un método de correlación estadística, donde se demuestra la relación de las características morfológicas (perímetro, área e índice de forma) entre las regiones urbanas y humedales acorde a los efectos del servicio ecosistémico de regulación (Peng, Wei-guo, & Guang-zhen, 2010).

Por otro lado, en China se selecciona el primer y único Parque Nacional de Humedales Urbanos Xixi ubicado al oeste de Hangzhou en la provincia de Zhejiang, donde se analizó cuantitativa y cualitativamente la temperatura urbana, utilizando imágenes de teledetección *Landsat*, al mostrar que los humedales urbanos cuentan con un rango de regulación de acuerdo a su extensión y tipo de humedal, así cuanto más cerca esté del mismo, es más notable la prestación del servicio de regulación (Wang & Zhu, 2011).

Así mismo, en el 2013 se llevó a cabo un método de recuperación de la Temperatura del Aire cerca de la Superficie, con imágenes *Landsat Thematic Mapper*, mediante un balance energético sobre la Tierra y el ratio de Bowen, evaluando los entornos de las regiones urbanas de los ecosistemas como en el caso de los humedales, con valores observados obtenidos de las

estaciones meteorológicas, manifestando que influyen en la temperatura atmosférica, cuando la distancia es menor a 300 m del humedal (Hou *et al.*, 2013).

De igual manera, Tumini (2012) menciona que los ecosistemas que cuentan con mayor vegetación ayudan en los procesos de regulación térmica, manifestando que el microclima urbano se presenta con aumento de las temperaturas en comparación al entorno rural, en la reducción de la amplitud térmica diaria, lo que genera que las causas de este fenómeno sean complejas, debido a la sustitución de la vegetación por coberturas urbanas (Tumini, 2012).

De forma similar, en el 2016 la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal (SEDEMA), aseguraron que la regulación térmica y humedad del ambiente, depende de los tipos de vegetación, superficie y áreas cubiertas por los mismos, pues se afirma que al sustituir la vegetación natural se origina la estabilización térmica que proporciona un microclima más húmedo y fresco en las zonas donde sólo hay construcciones (Cruz Angón *et al.*, 2016).

Por otra parte, según afirman Rosatto *et al.* (2016), en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) se evidenció en el medio físico, el impacto del hábitat construido y el aumento de temperatura, que produce la presencia de la Isla de Calor Urbana (ICU), identificando que en las edificaciones, las cubiertas verdes pueden ser un aporte a la regulación térmica, al ayudar con la amortiguación de la isla de calor urbano y las temperaturas extremas (Rosatto *et al.*, 2016).

De acuerdo a lo anterior, en Colombia no se han realizado estudios en cuanto a la necesidad de establecer la regulación térmica que prestan los humedales; resaltando que el gobierno ha gestionado y propiciado el desarrollo de proyectos de conservación en su mayoría, enfocados en la valoración de los servicios ecosistémicos (control de inundaciones, depuración de aguas, reservorios de biodiversidad, entre otros) y regulación hídrica (Cáceres Uribe, 2019).

A pesar de esto, se encuentra información de algunos estudios referentes a la regulación térmica, como es el caso de la ciudad de Bogotá, afectada por un acelerado crecimiento poblacional, que no permite realizar una planificación apropiada del territorio, por la pérdida de vegetación con el aumento de construcciones y superficies no transpirables (Rojas Palomino, 2013). Sin embargo, los parques o zonas verdes cumplen varias funciones con respecto al servicio de regulación del clima, dentro del sistema que compone el área urbana, según lo afirmado por

Rojas (2013), siendo lo anterior la razón para determinar la regulación térmica dentro del Parque Lineal y Corredor Ecológico de Ronda el Virrey; consiguiendo propiciar un inicio en la siembra de árboles urbanos en Bogotá, desde su morfología y bienestar térmico (Rojas Palomino, 2013).

En el año 2019, se llevó a cabo un estudio en la ciudad de Bogotá, al denotar por mapeo que la regulación térmica es uno de los servicios ecosistémicos más destacados que se puede proveer de la cobertura vegetal urbana. De esta manera, Rubiano (2019) resalta la importancia del mapeo de la regulación térmica de las ciudades, con el fin de contribuir con una herramienta de gestión y planeación del territorio, al generar un mapa representativo de la evaluación del potencial de regulación térmica de la ciudad de Bogotá (Rubiano Calderón, 2019).

Finalmente, en relación con la Figura 1, se muestra la producción científica obtenida en la búsqueda, para la realización de los antecedentes del periodo de consulta entre 2002 a 2021 relacionadas con el tema.

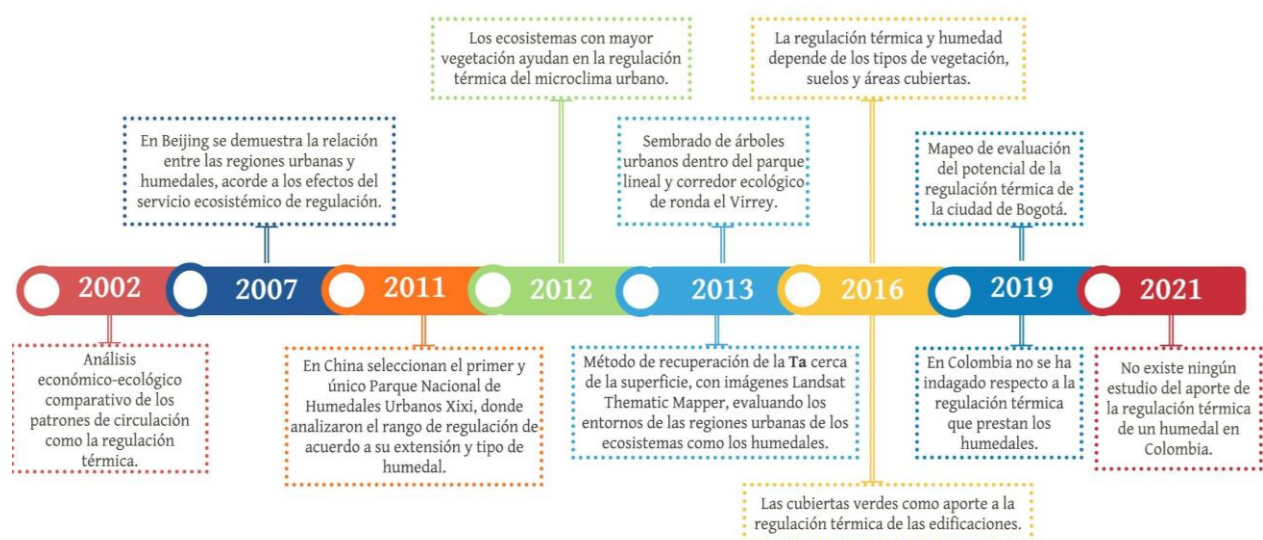


Figura 2. Línea del tiempo de la evolución del estudio de la regulación térmica. Por Buitrago & López, 2021.

## **7. Marco de referencia**

### **7.1. Marco teórico**

Los humedales cumplen papel esencial en la adaptación al cambio climático y en la atenuación de sus efectos, puesto que prestan servicios ecológicos fundamentales que constituyen un recurso de gran valor económico, científico, cultural y recreativo para la comunidad (Ramsar, 2018). De esta manera, se firmó en 1971 la Convención Relativa a los Humedales, en la ciudad de Ramsar (Irán), para proporcionar acciones en pro de la protección y conservación del uso racional de los humedales y sus recursos, la cual es un único tratado intergubernamental que se enfoca en este tipo de ecosistema, sirviendo de marco para la cooperación de acciones a nivel nacional e internacional, con el fin de contribuir en el logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo (CAR, 2011). A partir de esto, el término de humedales ha sido empleado generalmente, para definir los ecosistemas húmedos como lagos, pantanos y áreas similares cargadas con agua, que integran las características de ecosistemas terrestres y acuáticos, lo que sostiene la actividad biológica que se adapta a entornos húmedos (Ramsar, 2018).

#### **7.1.1. Importancia de los humedales**

Estos ecosistemas representan atributos, productos y funciones de cuya existencia se beneficia la sociedad. Además, los humedales cumplen con procesos ecológicos importantes, algunos son: evaporación y evapotranspiración, mantenimiento de la humedad ambiental y microclimas, producción y reincorporación de materia orgánica, bienes y servicios que aportan a la humanidad (Hurtado Espinosa, Quintero Valdez, & Ramírez Valencia, 2013). Por otro lado, en la actualidad hay más de 2.400 sitios Ramsar en todo el mundo, que abarcan más de 2,5 millones de kilómetros cuadrados, una superficie mayor que México, además el 25% de las especies son dependientes de los humedales continentales y el 12% de costeros (Ramsar, 2018). Asimismo, entre Bolivia, Brasil y Paraguay se encuentra el humedal Pantanal, el más grande del mundo con una extensión mayor a 174.000 km<sup>2</sup>, representando alrededor del 3% de los humedales (Ramsar, 2018). En Colombia, el humedal Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena - Ciénaga Grande de Santa Marta, es el complejo lagunar más grande del país con una superficie de 4.000 km<sup>2</sup>, que está siendo afectado junto con otros humedales por factores

naturales (deslizamiento de tierras, las tormentas y vendavales, actividad volcánica, inundaciones tanto estacionales como ocasionales, procesos de eutrofización y acidificación) y entrópicos (introducción o trasplante de especies invasoras, control de inundaciones, urbanización, sobreexplotación de recursos biológicos) (Hurtado Espinosa *et al.*, 2013; Ramsar, 1998).

### **7.1.2. Función de los humedales**

Los humedales han sido considerados como uno de los ecosistemas de mayor importancia, debido a que proveen servicios de recreación, investigación científica y educación. Entre estas funciones de los servicios ecosistémicos se encuentran las siguientes: físicas (Regulación del ciclo hídrico superficial y subterráneo, control de erosión y estabilización microclimática), químicas (Regulación de ciclos de nutrientes y descomposición de biomasa terrestre), bioecológicas (Productividad biológica, estabilidad e integridad de ecosistemas y retención de dióxido de carbono) y sociales (Sistemas productivos y socioculturales, recursos hidrobiológicos y soporte de acuicultura) (Hurtado Espinosa *et al.*, 2013). Además, se destacan por algunos elementos de la biota, que los convierte en escenarios irreemplazables en términos de sus atributos biológicos (Hurtado Espinosa *et al.*, 2013).

### **7.1.3. Beneficios de los humedales urbanos**

Los humedales urbanos pueden aportar diversos beneficios económicos, sociales y culturales. Son terrenos valiosos, no baldíos, tienen la capacidad de ayudar a controlar inundaciones, así como el ser fuente de agua, mejoran la calidad del aire y contribuyen en la disminución de la temperatura en sus alrededores, este factor es muy importante dadas las olas de calor que se presenta en diferentes puntos de las ciudades (Ortiz, 2019).

### **7.1.4 Servicios ecosistémicos de los humedales**

Dentro de la prestación de servicios, se evidencia su contribución directa e indirecta al bienestar humano, esto se ve representado en elementos o funciones derivadas de estos ecosistemas que son percibidas, capitalizadas y disfrutadas por el ser humano como beneficios que incrementan su calidad de vida (MinAmbiente, 2017). De esta manera, los servicios

ecosistémicos que proveen los humedales en el ambiente urbano, pueden ser considerados los siguientes:

- **Mitigación del cambio climático:** Los humedales son los sumideros de carbono más efectivos del planeta, ya que su función es capturar cerca del 40% de los GEI generados en el planeta, por tanto, son una solución ante el cambio climático (Instituto Humboldt, 2015). Sin embargo, estos son vulnerables por acciones naturales como antropogénicas. Los humedales tienen como función la estabilización de costas, así como constituyen una línea de defensa ante la acción de fenómenos severos del tiempo (inundaciones, tormentas y sequías) que permiten el desgaste y la disminución de la intensidad de estos cuando actúan sobre otras áreas (Ramsar, 2019).
- **Regulación térmica:** Los servicios de regulación de los ecosistemas influyen en diferentes aspectos climáticos, como la eliminación de contaminantes presentes en el aire, suministro acuático, influencia directa en la precipitación, cabe resaltar la importancia de la regulación térmica que puede generar un ecosistema, siendo la temperatura el indicador que determina los límites en que se regula los cambios climáticos, debido a la capacidad de almacenar y conservar los GEI (FAO, 2020).

## 7.2. Marco conceptual

A continuación, se describen algunos de los conceptos claves para una mejor realización e interpretación del proyecto durante la presente investigación.

### 7.2.1 Cobertura de la Tierra

En términos puntuales la **cobertura de la tierra** es la parte (bio) física que se observa sobre la superficie de la tierra, en un término amplio no solamente describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, sino que también describen otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua, especificando la unidad delimitable a partir de un análisis de imágenes satelitales, que son determinadas por sus características fisionómicas y ambientales, donde se ha logrado separar la cobertura y uso de la tierra importando la diferencia de ambos conceptos, el cual la palabra uso implicaba la utilidad que presta un tipo de cobertura al ser humano (Di Gregorio, 2005).

### 7.2.2 *Corine Land Cover*

En contexto general, la elaboración de cartografía de cobertura y uso de la tierra desempeña un papel importante para realizar una base datos, la cual es usada para describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, implementando el uso de la metodología **Corine Land Cover** que realiza el inventario homogéneo de la cobertura de la superficie de la tierra a partir de la interpretación visual de imágenes de satélite de resolución media (Landsat) asistida por computador y la generación de una base de datos geográfica, para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas (IDEAM, 2010).

### 7.2.3 Humedal Urbano

La expansión urbanística y el crecimiento de la demanda de tierras trae consigo presiones para los humedales, que se degradan, se rellenan y se utilizan como terrenos para la construcción, destacando que, algunos permanecen intactos o se restauran para contribuir a que las ciudades sean habitables (Ramsar, 2018). Por tanto, los **humedales urbanos** son superficies terrestres que se inundan de agua de forma estacional o permanente, además se encuentran dentro y alrededor de las ciudades y sus suburbios e incluyen ríos y llanuras inundables, lagos y pantanos, al igual que variantes costeras como marismas de agua salada, manglares y arrecifes de coral, desempeñando estos ecosistemas un papel vital para el logro de las metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible número 11: ciudades seguras, resilientes y sostenibles, con el fin de integrar los humedales urbanos como una oportunidad para la planificación de las ciudades debido a su crecimiento poblacional y urbanístico (Ramsar, 2018).

### 7.2.4 Regulación Térmica

Los servicios de regulación son beneficios que obtenemos de los procesos que mantienen la salud de los ecosistemas que se encuentran en buen estado, tanto terrestres como acuáticos y marinos, siendo la **regulación térmica** una interacción que se da en los ecosistemas, la cual permite la retención de calor y de la humedad, así como de la cantidad de calor proveniente del sol que es absorbida y emitida por el planeta, que determina las condiciones climáticas (Cruz Angón *et al.*, 2016). De manera más específica, algunos procesos ecosistémicos que intervienen en la regulación térmica son (Cruz Angón *et al.*, 2016):

- La evapotranspiración, que contribuye a controlar la cantidad de vapor de agua que ingresa en la atmósfera, regulando la formación de nubes y la transmisión de luz y calor.
- El albedo, que es la proporción de radiación solar reflejada en la superficie terrestre, y varía dependiendo del tipo de vegetación y uso de suelo.
- La fotosíntesis que regula los niveles de dióxido de carbono.

#### 7.2.5 *Sky View Factor* (SVF)

La morfología urbana es una variable multidimensional importante a considerar en la modelización y las observaciones climáticas, ya que impulsa significativamente la variabilidad climática local y a microescala en las ciudades, de esta forma se puede describir a través de parámetros que especifican la geometría, la disposición y los materiales tridimensionales de las características urbanas, como el ***Sky View Factor*** (Factor de visión del cielo) que es una medida de cuánto cielo es visible en una ubicación determinada y puede usarse para describir la comprensión del clima urbano, siendo muy popular para parametrizar la morfología urbana y determinar la incidencia de luz en una dimensión reducida de formas tridimensionales (Middel, Lukasczyk, Maciejewski, *et al.*, 2018).

#### 7.2.6 Zonificación Ambiental

Como parte del análisis y caracterización ambiental en lo que se refiere a las condiciones de naturalidad, integridad ecológica y oferta de servicios ecosistémicos, se procede con la construcción de una escala cuantitativa y cualitativa que busca valorar dicha característica dentro del área estudiada, a partir del cual se propone un esquema de **zonificación ambiental** basado en la organización y análisis de información existente, que constituye el diagnóstico de la zona de estudio, buscando asignar una función y señalar una forma de gestión ambiental para distintas características como el servicio ecosistémico de provisión de hábitat, provisión agrícola, regulación de clima, inundación y acuíferos, lo que hace posible la elaboración de planes que minimicen la afectación ambiental (Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá, 2018).

### 7.3. Marco legal

A continuación, se presenta un resumen de la normatividad legal ambiental vigente colombiana en relación con la conservación, restauración, preservación, seguimiento y otras actividades de gran

prioridad que se emplean en la protección de los humedales, la cual consta de leyes, decretos, resoluciones, normas y acuerdos, conforme a los parámetros y procedimientos señalados en la intervención de dichos ecosistemas como se muestra en la Tabla 1.

*Tabla 1.* Normatividad ambiental sobre humedales en Colombia.

| NORMA                                                 | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Convención de RAMSAR de 1971</b>                   | Acuerdo internacional centrado únicamente en la importancia de promover el uso racional y conservación de los humedales, mediante acciones regionales, gubernamentales y de colaboración mundial.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Convenio de Diversidad Biológica (CDB) de 1993</b> | Tratado internacional de conservación de la diversidad biológica, la participación equitativa y justa de los beneficios que se originan de la utilización de los recursos genéticos, a través del aprovechamiento sostenible de sus componentes.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Constitución Política de Colombia de 1991</b>      | <p>Frente a la gestión de los recursos naturales con base a los derechos y deberes del Estado colombiano, se tratan los artículos:</p> <p><b>Art. 58:</b> Se afianza los demás derechos adquiridos y propiedad privada, ajustadas a las leyes civiles, sin ser vulnerados ni desconocidos por leyes posteriores. Cuando por fundamento de interés social o utilidad pública se aplique una ley expedida, que sea consecuencia de conflicto de los derechos particulares por la necesidad de ser reconocida, se deberá primero ceder el interés público o social, antes que el interés privado.</p> <p><b>Art. 63:</b> Los bienes de uso público de la nación y los demás que determine la ley, son inembargables, inalienables e imprescriptibles, tales como: los parques naturales, patrimonio arqueológico y demás que determine la ley.</p> <p><b>Art. 79:</b> Es deber del Estado brindar a todas las personas el derecho de gozar un ambiente sano, mediante la protección y conservación de la diversidad e integridad del ambiente, de las áreas de especial importancia ecológica, y a su vez fomentar la educación para el lucro de estos fines.</p> <p><b>Art. 80:</b> El Estado planeará el aprovechamiento y administración de los recursos naturales, garantizando su desarrollo sostenible, frente a labores conservación, restauración o sustitución.</p> |

Tabla 1. Continuación

| NORMA                                                    | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Constitución<br/>Política de<br/>Colombia de 1991</b> | <b>Art. 366:</b> El Estado tiene como objetivo fundamental, solucionar la necesidad e inconformidades de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable, buscando el bienestar y el mejoramiento de la calidad de vida de la población.           |
| <b>Decreto - Ley<br/>2811 de 1974</b>                    | Se dicta el Código Nacional para la preservación y manejo de Recursos Naturales Renovables acordes al interés social, y de Protección al Medio Ambiente como patrimonio común.                                                                                     |
| <b>Ley 99 de 1993</b>                                    | Se establece el Ministerio del Medio Ambiente como órgano director del sector público, encargado de la gestión y conservación de los recursos naturales renovables del medio ambiente, además de constituir el Sistema Nacional Ambiental (SINA).                  |
| <b>Resolución 157 de<br/>2004</b>                        | Se ratifica los aspectos del uso sostenible, conservación y manejo de los humedales, acordes al desarrollo y adaptación del convenio de RAMSAR.                                                                                                                    |
| <b>Resolución 196 de<br/>2006</b>                        | Se acoge para la formulación, complementación o actualización de planes de manejo de los humedales en Colombia, la guía técnica estipulada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).                                               |
| <b>Decreto 2372 de<br/>2010</b>                          | En relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), se autoriza el Decreto-ley 2811 de 1974 y 216 de 2003, la Ley 99 de 1993 y 165 de 1994, de acuerdo a sus categorías de manejo que lo conforman y se dictan otras medidas.                         |
| <b>Acuerdo NO. PS-<br/>GJ.1.2.42.2.11.011</b>            | Se declara como Área de Recreación el humedal urbano El Charco-Oasis ubicado en el Municipio de Villavicencio-Meta, conforme a la categorización de áreas protegidas por el SINAP, además se establece su delimitación, extensión y se dictan otras disposiciones. |

*Nota:* Normatividad ambiental legal vigente sobre humedales en Colombia, con base en información plasmada por la normatividad presentada. Por (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y Cormacarena, 2020).

## 8. Metodología

La metodología del proyecto tiene una base descriptiva, se realizó mediante la recolección de datos en la zona de estudio, para llevar a posterior análisis. Está dividida en las siguientes fases:

### 8.1. Fase I: Reconocimiento y cuantificación de la cobertura actual en la zona de estudio del humedal el Charco-Oasis

Se realizó una visita preliminar en la zona interior y circundante del Humedal el Charco-Oasis para identificar los tipos de cobertura y plantear una ruta de monitoreo. Luego se procedió a la descarga de la siguiente información digital de la zona de estudio:

- Línea base de la ciudad de Villavicencio del geoportal del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).
- *Shapefile* de las coberturas de Colombia del geoportal del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC).
- Una imagen satelital actual del software SAS Planet (SASGIS, 2020).
- El modelo de elevación digital (DEM) del satélite LANDSAT, de la plataforma digital USGS “Science for a changing world” (Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2020).

Una vez adquirida la información anterior, con el software ArcMap 10.8 se procesaron los datos para obtener un mapa de la delimitación y el área del Parque Ecológico Humedal El Charco-Oasis a una escala 1:3000. Posterior a esto, se implementó la metodología *Corine Land Cover* usada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), que tiene como finalidad la elaboración del inventario homogéneo de la cubierta biofísica (cobertura) de la superficie de la tierra, partiendo de la interpretación visual de las imágenes satelitales asistida por computador y la generación de una base de datos geográficos (IDEAM, 2010).

Se adoptó la metodología permitiendo describir, caracterizar y comparar las características terrestres a partir de imágenes satelitales (Landsat) para generar cartografía a escala 1:3000, con esta sistematización se jerarquizaron categorías según los datos adquiridos y las condiciones del terreno. *Corine Land Cover* considera las siguientes actividades:

1. **Adquisición y preparación de la información:** Elaboración de la Geodatabase con la información digital obtenida del área de estudio.
2. **Procesamiento y composición de bandas espectrales:** Proceso de composición de las bandas espectrales que integran el DEM con el software ArcMap 10.8.
3. **Interpretación y verificación:** Reconocimiento de los usos y coberturas de los suelos, que se observan en la imagen satelital actual descargada del software SAS Planet.
4. **Análisis de coberturas del área de estudio:** Caracterización de los elementos pictórico-morfológicos de las imágenes, para su análisis visual acordes a la identificación de los niveles principales de la leyenda de las coberturas de *Corine Land Cover* de la Tabla 2.

Tabla 2. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra - Colombia.

| Coberturas principales de Colombia |
|------------------------------------|
| 1. Territorios Artificializados    |
| 2. Territorios Agrícolas           |
| 3. Bosque y áreas seminaturales    |
| 4. Áreas húmedas                   |
| 5. Superficies de agua             |

Nota: Principales unidades de coberturas, Metodología *Corine Land Cover*. Tomado de: (IDEAM, 2010).

5. **Clasificación supervisada:** Se definen las clases temáticas de acuerdo a su significado espectral de las bandas con base a la jerarquización de categorías de las coberturas como se muestra en la Figura 3; según la codificación de las unidades del tipo de cobertura de acuerdo con la metodología *Corine Land Cover* adaptada para Colombia (**Anexo A**).

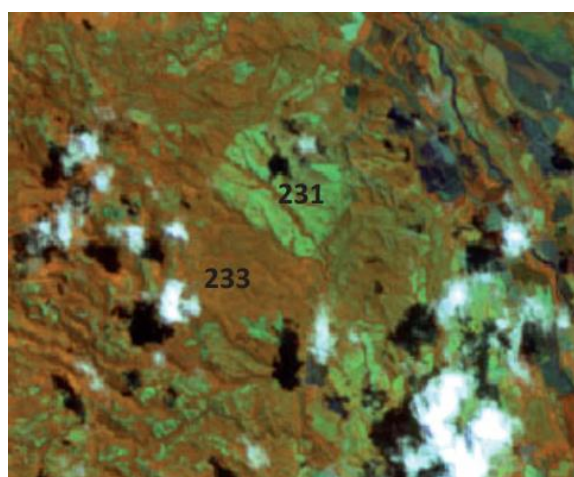


Figura 3. Interpretación de la metodología *Corine Land Cover* adaptada a Colombia de pastos limpios (231) y pastos enrastrados (233). Tomada de: (IDEAM, 2020).

**6. Resultados con el software ArcMap 10.8:** Mapa de coberturas de acuerdo a la Leyenda Nacional *Corine Land Cover* de la zona de estudio.

## **8.2. Fase II: Variables meteorológicas y el *Sky View Factor* (SVF) asociadas al tipo de cobertura**

A partir del mapa de coberturas generado, se determinó aleatoriamente por una cada de estas, entre 8 a 12 puntos de monitoreo, con su respectiva georreferenciación por medio de un GPS Garmin Oregón 550, incluyendo la descripción del área de la cobertura, vegetación, entre otros; para identificar aspectos y elementos importantes de la zona de estudio. Luego se realizó un mapa con la correspondiente ubicación de los puntos de monitoreo.

Definidos los puntos de monitoreo, se realizó un recorrido para tomar una fotografía desde la superficie terrestre hacia la vista del cielo con una cámara digital a través de un lente ojo de pez en cada punto. Posteriormente se adoptó los horarios de 10:00 am a 3:00 pm como franja de mayor incidencia solar de acuerdo al Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia (IDEAM, 2018). Dentro de este lapso de tiempo se realizó la medición cada 60 minutos de la Temperatura del aire ( $T_a$ ) y Humedad relativa (RH), calculando el promedio horario. Esta fase de campo se desarrolló durante 3 semanas, realizando la captura de información 3 días por semana, en 29 puntos de monitoreo, con el fin de obtener 5 mediciones de cada punto de la franja horaria (FH) como medida característica de la zona.

Establecidas las franjas horarias, se llevó a cabo la medición de la variación de la  $T_a$  y la RH, con un Termohigrómetro CC4154 Control Company, que tiene una precisión de  $T_a = \pm 1^\circ\text{C}$  y  $RH = \pm 5\%$ , para cada sitio de monitoreo (Blamis, 2020). El registro de los datos se hizo en el Formato de Medición de Variables (**Anexo B**).

A partir de las fotografías tomadas en campo, se calculó el SVF de la dimensión reducida con la forma urbana de cada fotografía, por medio del software RayMan Pro 3.1 usado por Middel *et al.* (2017) para la comprensión del clima urbano que determina la incidencia de luz, con el siguiente procedimiento:

**1. Preparación de la fotografía:** A partir de las fotografías tomadas en campo de cada punto de monitoreo, se realizó la preparación antes de cargarlas en el modelo RayMan, cambiando el

formato *Joint Photographic Experts Group* (JPEG) a un archivo de mapa de bits (bmp) de forma cuadrada con el círculo de ojo de pez en el centro, tocando los cuatro lados como se muestra en la Figura 4 (Matzarakis, 2018).



Figura 4. Ejemplo de una fotografía de ojo de pez en forma cuadrada como lo requiere RayMan, en formato mapa de bits (bmp). Tomada de: Manual RayMan Pro por (Matzarakis, 2018).

**2. Edición del SFV de la fotografía:** En el menú principal del software RayMan Pro 3.1, se selecciona “Input” → “SVF”, para abrir la ventana “*Edit free sky view factor*”. Una vez abierta la ventana, se editó cada fotografía con las barras de ajuste del RGB, donde se refleja la mayor incidencia de luz, hasta que el cielo se desvanece por completo y la cuadrícula pudo verse en el fondo, luego se usó la herramienta “*Horizon limitation*” que encierra el área circular de las imágenes como se muestra en la Figura 5. Después de delimitar el horizonte, se transformaron las fotografías a monocromático en escala de grises y blancos (Matzarakis, 2018).

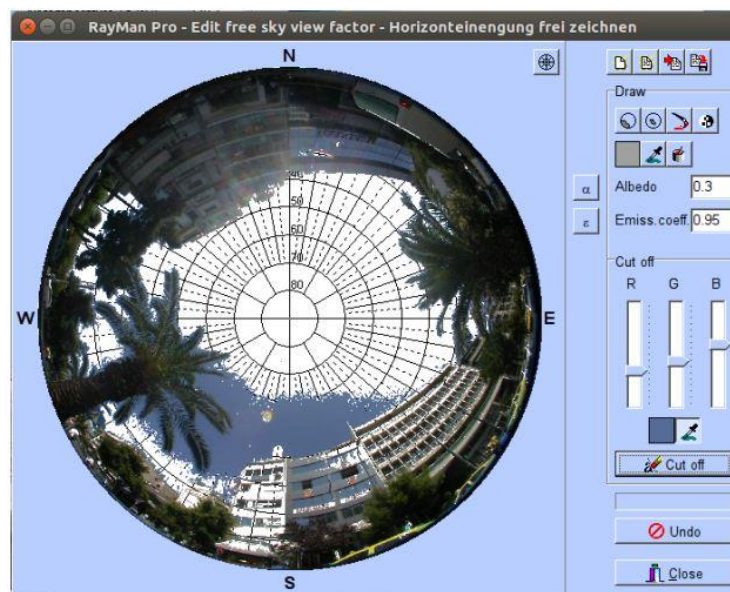


Figura 5. Fotografía de ojo de pez cargada en la ventana “*Edit free sky view factor*” con partes del cielo recortadas. Tomada de: Manual RayMan Pro por (Matzarakis, 2018).

**3. Cálculo del SVF de la fotografía:** Editadas las imágenes, el software calculó el SVF en dimensiones y rangos que van desde 0 a 1, donde 0 significa que el cielo está totalmente cubierto por terreno u obstáculos, mientras que 1 representa un cielo libre (Matzarakis, 2018). Para esto, RayMan Pro 3.1 utiliza dos enfoques juntos, el primero es la aproximación de la imagen de ojo de pez que inserta una cuadrícula polar superpuesta, contando las celdas libres y cubiertas como se muestra en la Figura 6a, y el segundo, es la distinción de píxeles blanco y negro en la imagen propia, puesto que, en el entorno real, el ojo de pez es una media esfera, y no todos los píxeles tienen la misma influencia como se observa en la Figura 6b (Matzarakis, 2018). De esta manera, el modelo RayMan calculó el SVF como la suma del seno al cuadrado del terreno o la elevación del obstáculo  $\beta_i$  en grados por ángulo de azimut  $\alpha_i$  en grados de la Ecuación 1, para finalmente obtener el valor de cada fotografía de los puntos de monitoreo (Matzarakis, 2018).

$$\Psi_s = \sum_{i=1}^n \sin^2 * \beta_i * \left( \frac{\alpha_i}{360^\circ} \right) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$\Psi_s$  = Es el valor calculado del SFV.

$\beta_i$  = Es el ángulo de elevación (uso múltiple) en grados.

$\alpha_i$  = Es el ángulo de azimut en grados.

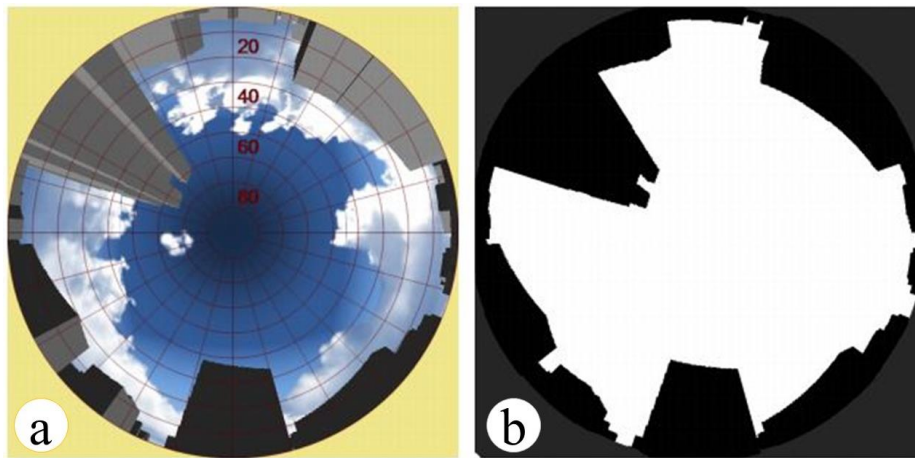


Figura 6. (a) Imagen de ojo de pez renderizada para visualización y (b) Imagen de ojo de pez renderizada para el cálculo de SVF. Tomada de: Manual RayMan Pro por (Matzarakis, 2018).

Por último, se graficaron diagramas de línea de las variables de Ta y RH de los datos obtenidos en cada punto de monitoreo de acuerdo al tipo de cobertura, además del valor calculado del SVF de las fotografías por el software RayMan Pro 3.1.

### 8.3. Fase III: Evaluación de la relación de las variables meteorológicas y el *Sky View Factor* (SVF) de la zona de estudio

Con base a los datos obtenidos de las variables de Ta y RH, se realizó un análisis de estadística descriptiva (Media, Error típico, Mediana, Moda, Desviación estándar, Varianza de la muestra, Curtosis, Coeficiente de asimetría, Rango, Mínimo, Máximo) de cada punto de monitoreo, para describir el comportamiento de forma cuantitativa del conjunto de datos. A partir de los resultados obtenidos, se calculó la diferencia de temperaturas del aire ( $\Delta Ta$ ) por medio de la Ecuación 2, escogiendo como referencia el menor valor de los puntos de monitoreo.

$$\Delta Ta = Ta_{PM} + Ta_{ref} \quad (Ecuación 2)$$

Donde:

$\Delta Ta$  = Diferencias de temperaturas del aire.

$Ta_{PM}$  = Temperatura del aire del punto monitoreo (°C).

$Ta_{ref}$  = Menor temperatura del aire de todos los puntos de monitoreo (°C).

De igual forma, se calculó el índice de regulación térmica del humedal el Charco-Oasis respecto a la zona de influencia por medio de la Ecuación 5, propuesta por Wang & Zhu (2011) para definir el índice térmico de humedales urbanos en una ciudad.

$$WTI = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (Ecuación 3)$$

Donde:

**WTI** = Índice térmico de humedales.

$T_1$  = Ta promedio del tejido urbano.

$T_2$  = Ta promedio de cada distancia de 10 metros respecto al límite de regulación del humedal.

De esta manera, se adoptó el procedimiento por Wang & Zhu (2011) del análisis de la zona de amortiguamiento en el software ArcMap 10.8, por medio del geoproceso *buffer*, considerando el límite del humedal el Charco-Oasis como punto de partida, para establecer la Ta promedio en cada 10 metros de distancia uniforme del área de amortiguación de 150 metros.

Asimismo, se analizó la correlación lineal de Pearson y Spearman de las variables meteorológicas de Ta vs RH, además de la relación que presentan las variables de SVF Vs  $\Delta Ta$  y SVF Vs WTI. Al realizar el cálculo del valor de ambos coeficientes y obtener el promedio de

correlación, se permite establecer de manera cuantitativa la forma en que dos variables numéricas se relacionan entre sí, es decir: conocer si aumentan o disminuyen simultáneamente, si una disminuye mientras que la otra aumenta, o inversamente, e incluso si las variables no tienen relación alguna (Alanís-Navarro, Casarrubias-Bahena, Alanís-Cantú, *et al.*, 2017). Para identificar su grado y tipo de correlación, se muestra en la Tabla 3, la clasificación del coeficiente acorde al significado de su relación (Alanís-Navarro *et al.*, 2017).

Tabla 3. Clasificación del coeficiente en función del grado y tipo de correlación.

| Tipo            | Grado    | Coeficiente        |
|-----------------|----------|--------------------|
| <b>Negativa</b> | Perfecta | $r = -1$           |
|                 | Fuerte   | $-1 < r \leq -0,8$ |
|                 | Moderada | $-0,8 < r < -0,5$  |
|                 | Débil    | $-0,5 \leq r < 0$  |
| <b>Positiva</b> | Perfecta | $r = 1$            |
|                 | Fuerte   | $1 < r \leq 0,8$   |
|                 | Moderada | $0,8 < r < 0,5$    |
|                 | Débil    | $0,5 \leq r < 0$   |

Nota: Tipo y grado de correlación para los coeficientes de Pearson y Spearman. Por (Alanís-Navarro *et al.*, 2017).

Una vez identificada la correlación de las variables, se realizó un análisis de regresión lineal mediante el método de mínimos cuadrados, conforme a los análisis de estadística descriptiva de los datos obtenidos en los puntos de monitoreo. De esta manera, se logró hallar el punto de corte y pendiente de la variable independiente, para obtener las ecuaciones de la recta que tiene la forma de la Ecuación 4, que dan como resultado el valor de la variable dependiente, así como el error del cálculo de cada coeficiente y la determinación de cada ajuste (Alanís-Navarro *et al.*, 2017). Después, se elaboraron las gráficas de dispersión de cada relación de Ta Vs RH, SVF Vs  $\Delta T_a$  y SVF Vs WTI.

$$y = bx + a \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

**y** = Variable dependiente.

**b** = Pendiente.

**x** = Variable independiente.

**a** = Punto de corte.

Estimados los coeficientes de correlación de Pearson y Spearman, se tomaron los datos del promedio obtenido en el análisis de estadística descriptiva de los puntos de monitoreo de las variables Ta y RH, incluyendo los valores calculados por el software RayMan 3.1 del SVF, para procesarlos en ArcMap 10.8, identificando por medio de un mapa la influencia que tienen las variables meteorológicas y el SVF con relación a las coberturas (Rosales Arriaga, 2011). Implementando el método geoestadístico de interpolación *kriging*, que proporciona estimaciones a partir de una muestra de puntos (distribuidos en forma regular e irregular) de sitios que no tienen información, con una varianza mínima conocida y sin ningún sesgo (Rosales Arriaga, 2011).

Posteriormente, se realizó un diagrama de línea con los valores calculados de WTI y el registro de la Ta promedio en los diferentes segmentos, que identifica la regulación del humedal sobre la temperatura urbana a diferentes distancias (Wang & Zhu, 2011). Finalmente, en ArcMap 10.8 se procesó los valores obtenidos de WTI, ejecutando el método geoestadístico *kriging* para determinar la regulación térmica del humedal el Charco-Oasis mediante un mapa representativo de la zona de estudio (Wang & Zhu, 2011).

## 9. Resultados y análisis

### 9.1. Fase I: Reconocimiento y cuantificación de la cobertura e intervención actual en el humedal el Charco-Oasis

El Parque Ecológico Humedal el Charco-Oasis, se encuentra declarado bajo la categoría de Área de Recreación según el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), como un humedal urbano de alta densidad de uso público y aprovechamiento sostenible de acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de la ciudad de Villavicencio, a cargo de Cormacarena (Cormacarena, 2011). A pesar de ser reconocido dentro del POT, ha sufrido un proceso histórico de la presión urbana, afectando los servicios ecosistémicos que presta la biodiversidad que alberga en su área boscosa (Ortiz Moreno, 2018). Acorde a esto, con relación a la información de la Geodatabase y la visita en campo, se procesaron los metadatos para obtener el mapa de la delimitación del Humedal el Charco-Oasis como se muestra en la Figura 7.

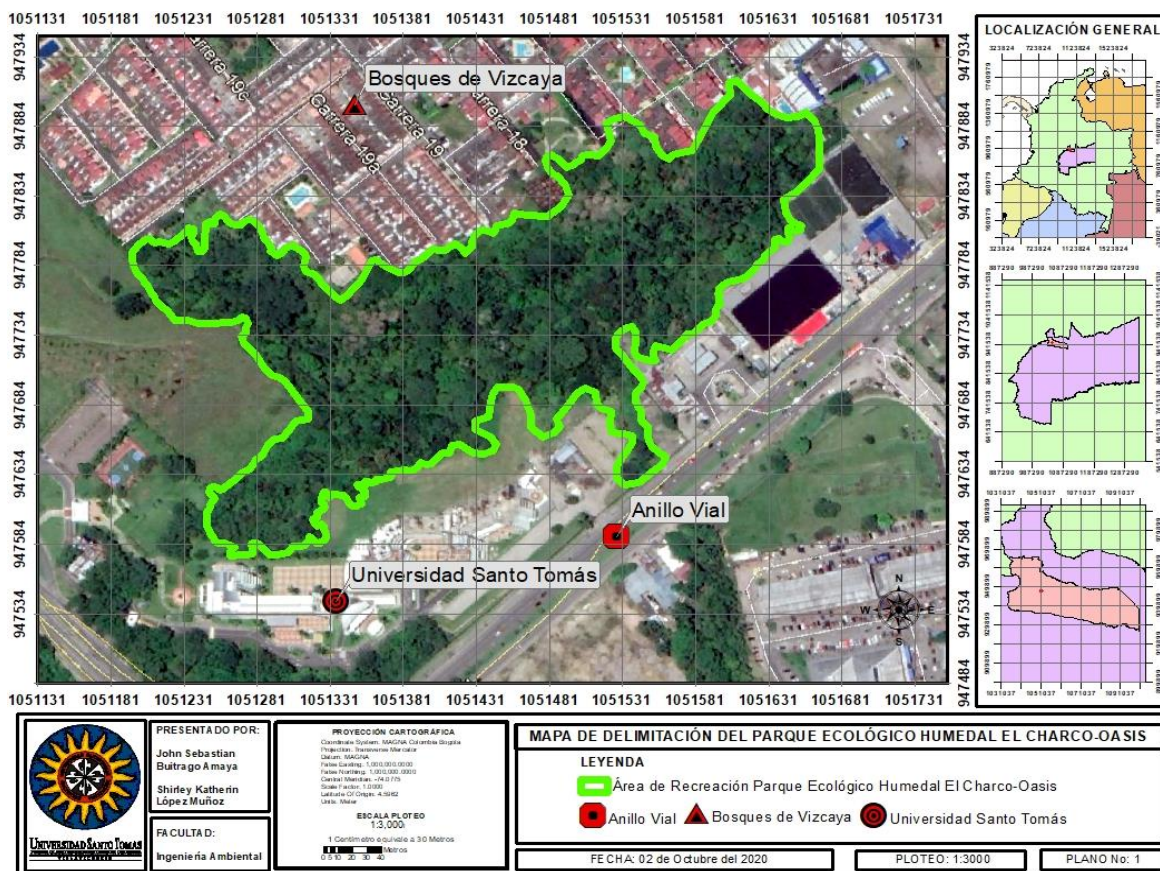
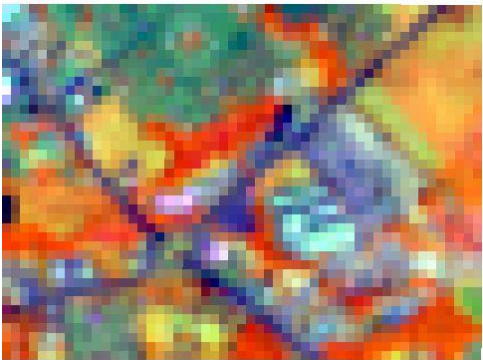
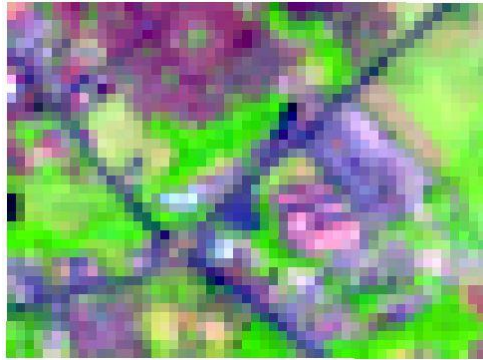


Figura 7. Delimitación del Humedal el Charco-Oasis. Por Buitrago & López, 2021.

Para el reconocimiento de las coberturas, se realizó un análisis preliminar mediante la metodología *Corine Land Cover*, donde se detalla los tres tipos de coberturas que se identificaron como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis preliminar de Coberturas.

| Visualización                                                                       | Tipo de Cobertura                                                                                                                | Descripción                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p><b>Categoría:</b><br/>Territorio Artificializados.</p> <p><b>Subcategoría:</b><br/><i>Tejido urbano discontinuo (TUD)</i></p> | El color gris claro y morado representan la urbanización de forma irregular, está conformada por edificaciones, vías e infraestructuras de manera dispersa y discontinua ya que el resto del área está cubierta por vegetación. |
|   | <p><b>Categoría:</b><br/>Territorio Agrícola.</p> <p><b>Subcategoría:</b><br/><i>Pastos Limpios (PL)</i></p>                     | El color anaranjado claro representa los terrenos de pastos, que están conformados por tierras cubiertas con hierba, además son alteradas por actividades antrópicas.                                                           |
|  | <p><b>Categoría:</b><br/>Bosques y áreas seminaturales.</p> <p><b>Subcategoría:</b><br/><i>Bosque fragmentado (BF)</i></p>       | El color verde representa bosques naturales densos o abiertos afectados por otra cobertura, dentro de esta vegetación se encuentra un bosque de galería secundario el cual ha sido intervenido por actividad antrópica.         |

Nota: Tipo y descripción de coberturas mediante la metodología *Corine Land Cover*. Por Buitrago & López, 2021.

Posteriormente, con la información se elaboró el mapa de coberturas de acuerdo a la Leyenda Nacional *Corine Land Cover* adaptada para Colombia como se muestra en la Figura 8. Estos tres tipos de cobertura identificados dentro de la zona de estudio, tienen la siguiente área: Tejido urbano discontinuo (5,677 ha), Pastos limpios (2,296 ha) y Bosque fragmentado (5,238 ha).

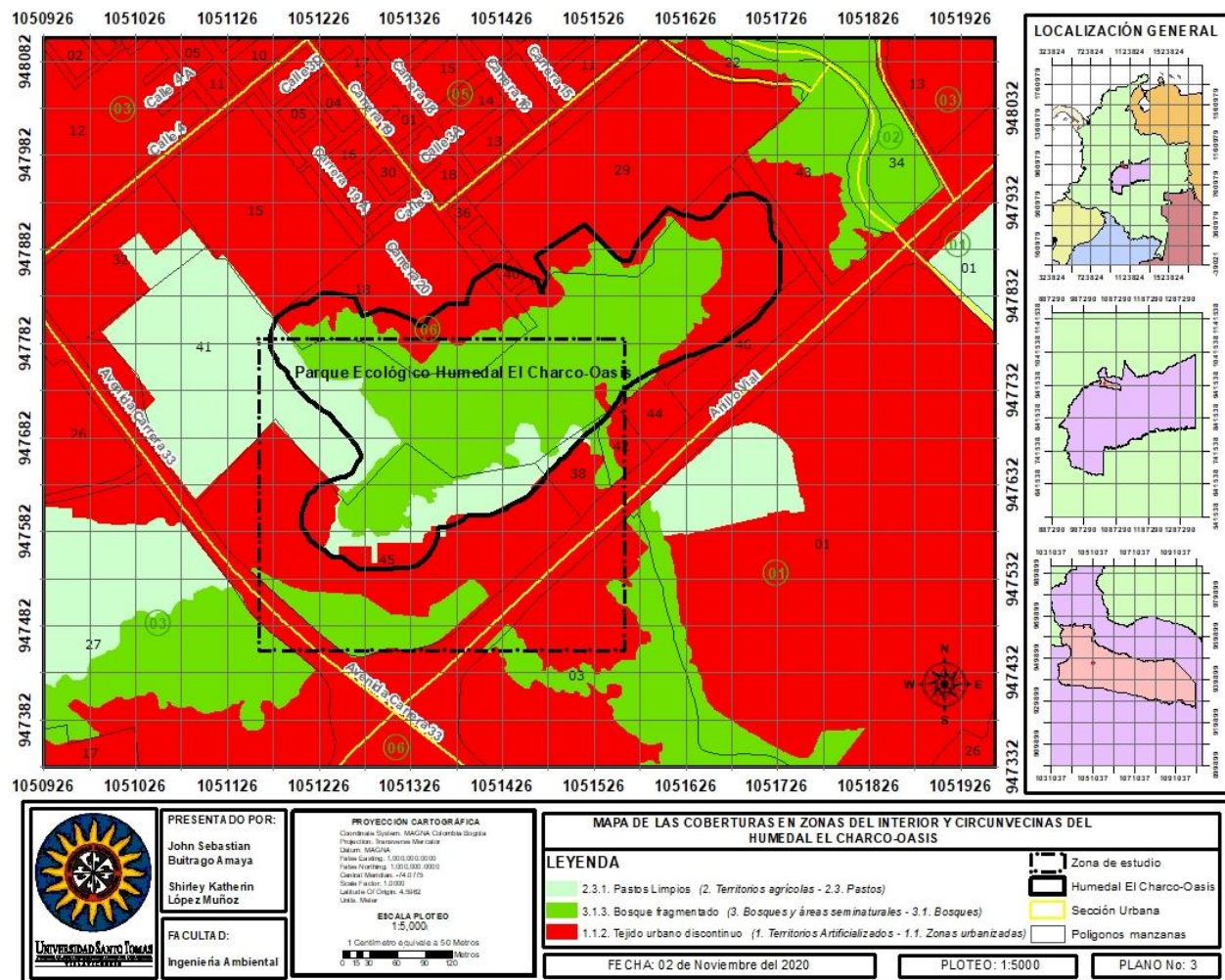
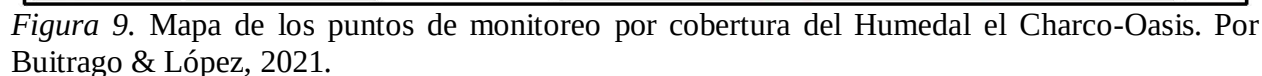


Figura 8. Mapa de las coberturas en zonas del interior y circunvecinas del Humedal el Charco-Oasis. Por Buitrago & López, 2021.

## 9.2. Fase II: Variables meteorológicas y el Sky View Factor (SVF) en zonas del interior y circunvecinas asociadas a cada tipo de cobertura de la zona de estudio

La distribución de los puntos de monitoreo en campo se tomó acorde a las tres coberturas obtenidas en la Figura 8 de forma aleatoria, para tejido urbano discontinuo (9), pastos limpios (8) y bosque fragmentado (12), como se observa en la Figura 9. Esto con el objetivo de tomar las fotografías ojo de pez para calcular el SVF con el software RayMan Pro 3.1 usado por Middel *et al.* (2017), además de cuantificar el promedio horario con la captura de información de las variables de Ta y RH de las franjas horarias establecidas que cuentan con mayor incidencia de la radiación solar.



De esta manera, conforme al rango establecido por el modelo RayMan para el cálculo del SVF, se observa que las coberturas cuentan con los siguientes intervalos: **TUD** (Punto 11= 0,449 – Punto 28= 0,946), **PL** (Punto 27= 0,457 – Punto 13= 0,998) y **BF** (Punto 20= 0,089 – Punto 23= 0,226); afirmando que todos los valores obtenidos de SVF son adimensionales al no contar con una unidad de expresión explícita, evidenciando únicamente la incidencia de luz en cada punto de monitoreo de acuerdo al rango.

Tabla 5. SVF y ubicación geográfica de los puntos de monitoreo del Humedal Charco-Oasis.

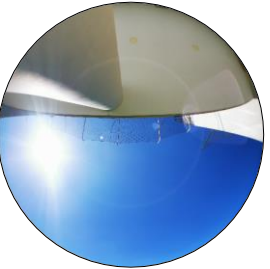
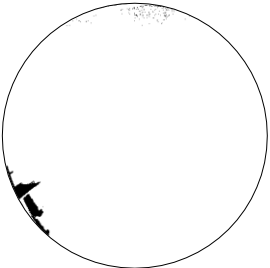
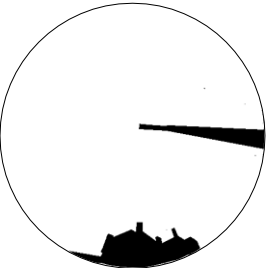
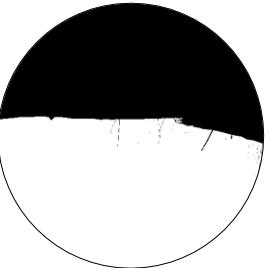
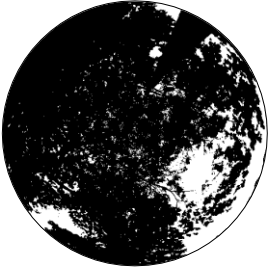
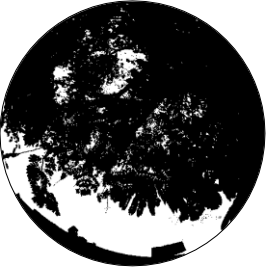
|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |    |
| Punto 1 - TUD<br>• N 4° 7' 21,66"<br>• W 73° 36' 48,24"<br>SVF= 0,631               | Punto 2 - PL<br>• N 4° 7' 21,40"<br>• W 73° 36' 50,20"<br>SVF= 0,991                | Punto 3 - TUD<br>• N 4° 7' 19,30"<br>• W 73° 36' 50,10"<br>SVF= 0,930                | Punto 4 - TUD<br>• N 4° 7' 19,78"<br>• W 73° 36' 53,32"<br>SVF= 0,567                 |
|   |   |   |   |
|  |  |  |  |
| Punto 5 - TUD<br>• N 4° 7' 18,25"<br>• W 73° 36' 55,59"<br>SVF= 0,600               | Punto 6 - BF<br>• N 4° 7' 17,16"<br>• W 73° 36' 53,29"<br>SVF= 0,169                | Punto 7 - BF<br>• N 4° 7' 16,85"<br>• W 73° 36' 56,22"<br>SVF= 0,213                 | Punto 8 - BF<br>• N 4° 7' 17,26"<br>• W 73° 36' 58,87"<br>SVF= 0,123                  |
|  |  |  |  |

Tabla 5. Continuación

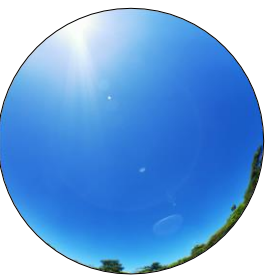
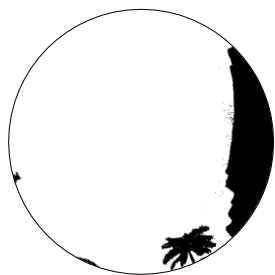
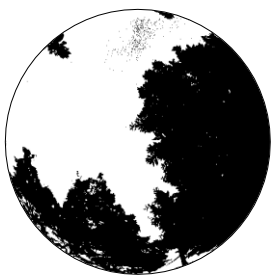
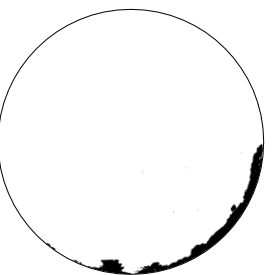
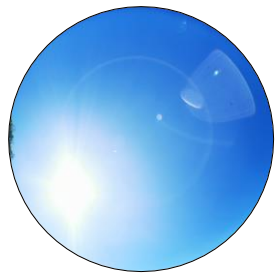
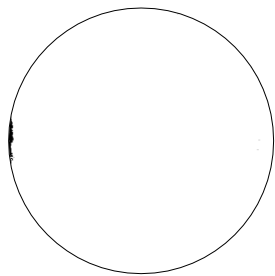
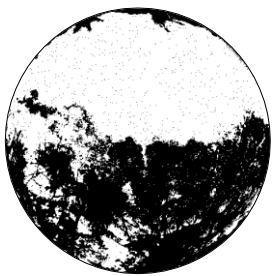
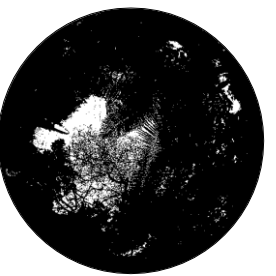
|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |    |
| Punto 9 - TUD<br>• N 4° 7' 18,22"<br>• W 73° 36' 57,74"<br><b>SVF= 0,886</b>        | Punto 10 - TUD<br>• N 4° 7' 20,48"<br>• W 73° 36' 59,42"<br><b>SVF= 0,467</b>       | Punto 11 - TUD<br>• N 4° 7' 22,39"<br>• W 73° 36' 59,09"<br><b>SVF= 0,449</b>        | Punto 12 - PL<br>• N 4° 7' 22,20"<br>• W 73° 36' 56,80"<br><b>SVF= 0,973</b>          |
|   |   |   |   |
|  |  |  |  |
| Punto 13 - PL<br>• N 4° 7' 23,80"<br>• W 73° 36' 57,70"<br><b>SVF= 0,998</b>        | Punto 14 - PL<br>• N 4° 7' 19,53"<br>• W 73° 36' 54,79"<br><b>SVF= 0,545</b>        | Punto 15 - PL<br>• N 4° 7' 21,50"<br>• W 73° 36' 52,00"<br><b>SVF= 0,680</b>         | Punto 16 - BF<br>• N 4° 7' 19,92"<br>• W 73° 36' 56,55"<br><b>SVF= 0,106</b>          |
|  |  |  |  |

Tabla 5. Continuación

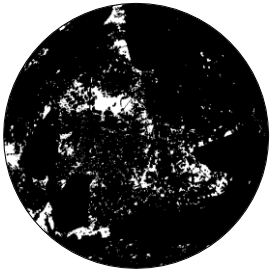
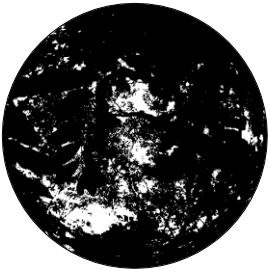
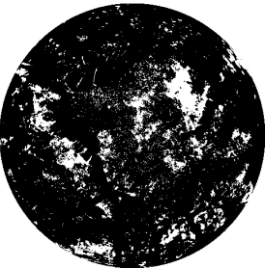
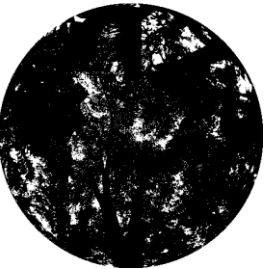
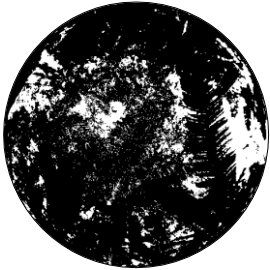
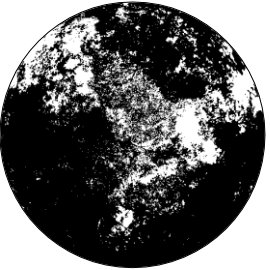
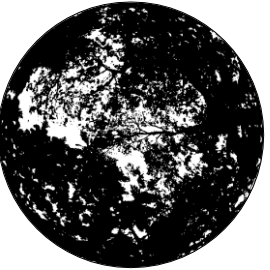
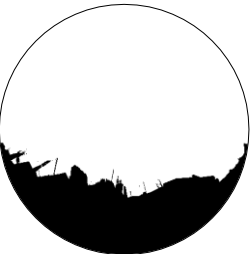
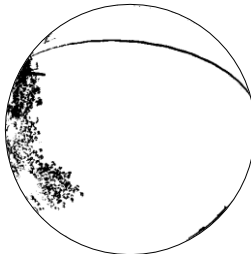
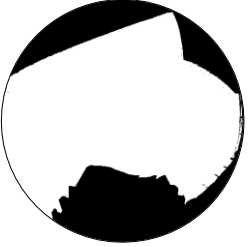
|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |    |
| Punto 17 - BF<br>• N 4° 7' 20,39"<br>• W 73° 36' 55,82"<br><b>SVF= 0,089</b>        | Punto 18 - BF<br>• N 4° 7' 21,21"<br>• W 73° 36' 55,01"<br><b>SVF= 0,127</b>        | Punto 19 - BF<br>• N 4° 7' 22,28"<br>• W 73° 36' 53,69"<br><b>SVF= 0,135</b>         | Punto 20 - BF<br>• N 4° 7' 23,28"<br>• W 73° 36' 53,50"<br><b>SVF= 0,093</b>          |
|   |   |   |   |
|  |  |  |  |
| Punto 21 - BF<br>• N 4° 7' 21,74"<br>• W 73° 36' 52,63"<br><b>SVF= 0,177</b>        | Punto 22 - BF<br>• N 4° 7' 23,21"<br>• W 73° 36' 50,96"<br><b>SVF= 0,137</b>        | Punto 23 - BF<br>• N 4° 7' 24,34"<br>• W 73° 36' 50,38"<br><b>SVF= 0,226</b>         | Punto 24 - BF<br>• N 4° 7' 23,70"<br>• W 73° 36' 48,60"<br><b>SVF= 0,205</b>          |
|  |  |  |  |

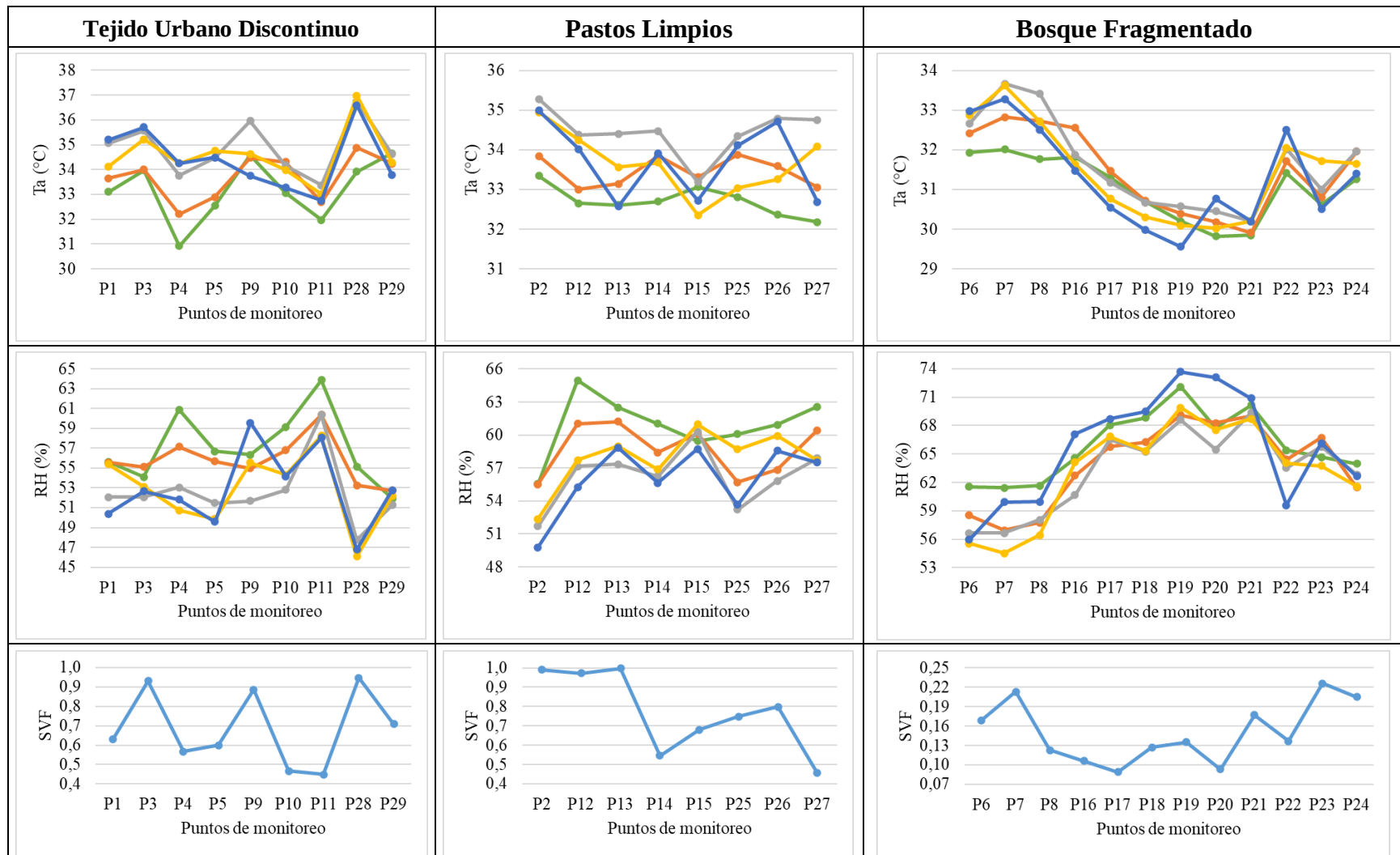
Tabla 5. Continuación

|                                                                                     |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |   |   |    |
| Punto 25 - PL<br>• N 4° 7' 20,72"<br>• W 73° 36' 51,36"<br><b>SVF= 0,748</b>        | Punto 26 - PL<br>• N 4° 7' 19,26"<br>• W 73° 36' 54,37"<br><b>SVF= 0,799</b>       | Punto 27 - PL<br>• N 4° 7' 19,28"<br>• W 73° 36' 56,27"<br><b>SVF= 0,457</b>        | Punto 28 - TUD<br>• N 4° 7' 17,54"<br>• W 73° 36' 51,73"<br><b>SVF= 0,946</b>         |
|   |  |  |   |
|  | Punto 29 - TUD<br>• N 4° 7' 17,82"<br>• W 73° 36' 54,50"<br><b>SVF= 0,708</b>      |                                                                                     |  |

*Nota:* Fotografías editadas en el software RayMan Pro 3.1. Por Buitrago & López, 2021.

A partir de lo anterior, en comparación con BF, la incidencia de radiación solar es menor en relación con las coberturas de TUD y PL, con un máximo de 22,6%. Estos valores están condicionados por la forma urbana que transforma el territorio y su comportamiento climático, al considerar la visibilidad del cielo a partir del SVF, determinando una estrecha relación entre el almacenamiento de calor de la infraestructura, comportamiento térmico (confort) y el aumento de la  $T_a$  que altera las condiciones y define el comportamiento del microclima local (Carrasco, Palme, & Gálvez, 2016). En la Tabla 6, se observa que las FH establecidas de las variables  $T_a$  y RH, cuentan con una variación de cada hora en los lapsos de medición y una diferencia en las coberturas según los valores obtenidos, además del valor calculado del SVF de los flujos de radiación solar.

Tabla 6. Diagramas de línea de las variables Ta, RH y SVF.



Nota: Gráficas separadas por coberturas con sus respectivos puntos de monitoreo. Línea verde (FH: 10:00am – 11:00am); Línea anaranjada (FH: 11:00am – 12:00m); Línea gris (FH: 12:00m – 1:00pm); Línea amarilla (FH: 1:00pm – 2:00pm); Línea azul oscuro (FH: 2:00pm – 3:00pm); Línea azul claro (SVF calculado de cada punto de monitoreo). Por Buitrago & López, 2021.

En la Tabla 6, se evidenció que el valor calculado del SVF es determinado por una ubicación exacta (puntos de monitoreo), variando acorde a la obstrucción de la infraestructura y vegetación presente en el área, que inciden en la radiación solar al llegar a la superficie de distinta forma dependiendo de la visibilidad del cielo, alterando la Ta y RH de la zona en las franjas horarias establecidas, puesto que ambas variables y el SVF tienen una estrecha relación que permite definir las condiciones climáticas del microclima local. Por consiguiente, se muestra que la cobertura de BF tiende a menor Ta y mayor RH entre la franja horaria de 10am-11am a 2pm-3pm respecto a los otros dos tipos de cobertura TUD y PL, mostrando valores similares de Ta y RH, ya que su superficie urbana se diferencia por edificaciones (TUD) y baja abundancia de vegetación (PL) al tener mayor exposición solar lo cual causa retención de calor.

### 9.3. Fase III: Relación de la cobertura con las variables meteorológicas y el *Sky View Factor* (SVF)

Se realizó, un análisis de estadística descriptiva el cual permitió procesar la información para saber la variabilidad de los datos de Ta y RH tomados en la zona de estudio y en las diferentes coberturas como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Estadística descriptiva de los puntos de monitoreo de la zona de estudio y coberturas.

|                         | Coberturas                      |       |                     |        |                         |        | Promedio de la Zona de estudio |        |
|-------------------------|---------------------------------|-------|---------------------|--------|-------------------------|--------|--------------------------------|--------|
|                         | Tejido Urbano Discontinuo (TUD) |       | Pastos Limpios (PL) |        | Bosque Fragmentado (BF) |        |                                |        |
| Variable                | Ta                              | RH    | Ta                  | RH     | Ta                      | RH     | Ta                             | RH     |
| Media                   | 34,1                            | 54,2  | 33,5                | 57,9   | 31,3                    | 64,3   | 32,8                           | 59,4   |
| Error típico            | 0,312                           | 0,959 | 0,160               | 0,827  | 0,303                   | 1,301  | 0,285                          | 1,043  |
| Mediana                 | 34,2                            | 53,8  | 33,6                | 58,8   | 31,3                    | 64,6   | 33,0                           | 58,7   |
| Desviación estándar     | 0,937                           | 2,878 | 0,454               | 2,338  | 1,049                   | 4,507  | 1,534                          | 5,619  |
| Varianza de la muestra  | 0,878                           | 8,285 | 0,206               | 5,468  | 1,100                   | 20,310 | 2,353                          | 31,576 |
| Curtosis                | 0,091                           | 2,007 | 1,750               | 2,449  | -1,383                  | -1,153 | -0,599                         | -0,648 |
| Coficiente de asimetría | 0,231                           | 0,819 | 0,690               | -1,599 | 0,202                   | -0,299 | -0,361                         | 0,426  |
| Rango                   | 3,1                             | 10,4  | 1,6                 | 6,9    | 3,0                     | 13,0   | 5,8                            | 20,9   |
| Mínimo                  | 32,8                            | 49,8  | 32,9                | 53,0   | 30,1                    | 57,6   | 30,1                           | 49,8   |
| Máximo                  | 35,8                            | 60,2  | 34,5                | 59,9   | 33,1                    | 70,7   | 35,8                           | 70,7   |

Nota: Las unidades de Ta están expresadas en °C y RH en %; Revisar **ANEXO C** de estadística descriptiva de los puntos de monitoreo. Por Buitrago & López, 2021.

En las diferentes coberturas de la Tabla 7, se observa que en comparación con BF, la Ta en TUD es mayor y la RH es menor, debido a que en la parte urbana (infraestructura) sus materiales de construcción retienen calor sin cambiar sus propiedades térmicas y se reduce la evapotranspiración de manera abrupta por la cantidad de energía que se almacena constantemente (Cruz Angón *et al.*, 2016). Por tanto, al existir mayor área de vegetación arbórea (humedal), se modifica el microclima local de la zona, gracias a la ayuda del aire circundante que se enfría, lo que estabiliza la Ta y aumenta la RH. Cabe destacar, que la cobertura de PL es la zona de transición entre TUD y BF como se mostró en la Figura 9, puesto que entre ambas coberturas hay mayor variabilidad de los datos de la Ta y RH por su poca abundancia de vegetación, dado a que esta cobertura se encuentra expuesta frecuentemente a la radiación solar, causando la alteración de las condiciones microclimáticas que se dan entre el suelo y el aire, lo cual está demostrando que hay una influencia de las coberturas del Humedal el Charco-Oasis en la zona (Guillen-Mena & Orellana, 2016).

De este modo, ambas variables en la zona de estudio, actúan de forma inversamente proporcional conforme a la distribución de los datos, al mostrarse los valores dispersos y una menor concentración entorno a la media respecto al rango, al disminuir la Ta con un promedio de 32,8°C y aumentar la RH con 59,4%, en un intervalo de error de confianza bajo, con relación a la fiabilidad de los cálculos, así mismo no se presenta ningún valor repetitivo de mayor frecuencia en las coberturas.

A partir de los valores de Ta, RH y SVF, se halló  $\Delta Ta$  para demostrar el aumento de temperatura de la zona de estudio y WTI que identifica la influencia del potencial de regulación térmica del humedal en la zona urbana (**Anexo D**), para analizar la relación de las variables de Ta Vs RH, SVF Vs  $\Delta Ta$  y SVF Vs WTI, mediante una correlación lineal de los coeficientes de Pearson y Spearman, en donde se observó que las variables presentan un tipo y grado de correlación tanto positiva como negativa con un nivel en los datos fuerte, moderada y débil, además ninguna variable presenta una correlación nula y se muestra una similitud con los valores obtenidos por ambos estudios de correlación.

Se identificó en la Tabla 8, que la relación de Ta Vs RH y SVF Vs WTI en la zona de estudio presenta una correlación fuerte y moderada de tipo negativa, con valores promedio de los coeficientes de -0.768 y -0,931, a diferencia de SVF Vs  $\Delta Ta$  que muestra una correlación fuerte

de tipo positiva con un valor de 0,822 en promedio. También, se demostró en la Tabla 8 la correlación de los datos con base a los puntos de monitoreo presentes en cada una de las coberturas, para establecer la forma en que se relacionan las variables climáticas de interés entre ellas con las características que tienen las coberturas, donde la correlación está interactuando de manera gradual para Ta Vs RH entre -0,69 a -0,949 y en SVF Vs  $\Delta Ta$  de 0,192 a 0,94 en todas las coberturas, y a su vez el SVF Vs WTI está teniendo un declive para la cobertura PL con un coeficiente promedio de -0,01 por la variabilidad de los datos, siendo casi nula la relación por ser la zona de transición entre TUD y BF.

Tabla 8. Correlación de las variables de Ta Vs RH, SVF Vs  $\Delta Ta$  y SVF Vs WTI.

| Relación   |                                | Correlación |          |            |        |
|------------|--------------------------------|-------------|----------|------------|--------|
|            |                                | Pearson     | Spearman | Promedio   |        |
|            |                                | r           | rs       | (r + rs)/2 |        |
| Ta Vs RH   | Franja horaria (FH)            | 10am a 11am | -0,889   | -0,869     | -0,879 |
|            |                                | 11am a 12m  | -0,920   | -0,880     | -0,900 |
|            |                                | 12m a 1pm   | -0,935   | -0,892     | -0,914 |
|            |                                | 1pm a 2pm   | -0,943   | -0,914     | -0,928 |
|            |                                | 2pm a 3pm   | -0,932   | -0,918     | -0,925 |
|            | Cobertura                      | TUD         | -0,764   | -0,617     | -0,690 |
|            |                                | PL          | -0,886   | -0,786     | -0,836 |
|            |                                | BF          | -0,967   | -0,930     | -0,949 |
|            | Promedio de la zona de estudio |             | -0,953   | -0,909     | -0,931 |
| SVF Vs ΔTa | Franja horaria (FH)            | 10am a 11am | 0,775    | 0,787      | 0,781  |
|            |                                | 11am a 12m  | 0,760    | 0,770      | 0,765  |
|            |                                | 12m a 1pm   | 0,844    | 0,818      | 0,831  |
|            |                                | 1pm a 2pm   | 0,788    | 0,798      | 0,793  |
|            |                                | 2pm a 3pm   | 0,783    | 0,766      | 0,775  |
|            | Cobertura                      | TUD         | 0,896    | 0,983      | 0,940  |
|            |                                | PL          | 0,368    | 0,214      | 0,291  |
|            |                                | BF          | 0,251    | 0,133      | 0,192  |
|            | Promedio de la zona de estudio |             | 0,828    | 0,816      | 0,822  |
| SVF Vs WTI | Franja horaria (FH)            | 10am a 11am | -0.737   | -0.717     | -0.727 |
|            |                                | 11am a 12m  | -0.772   | -0.720     | -0.746 |
|            |                                | 12m a 1pm   | -0.829   | -0.804     | -0.816 |
|            |                                | 1pm a 2pm   | -0.802   | -0.777     | -0.789 |
|            |                                | 2pm a 3pm   | -0.825   | -0.808     | -0.817 |
|            | Cobertura                      | TUD         | -0.567   | -0.504     | -0.536 |
|            |                                | PL          | -0.171   | 0.151      | -0.010 |
|            |                                | BF          | -0.317   | -0.239     | -0.278 |
|            | Promedio de la zona de estudio |             | -0.811   | -0.725     | -0.768 |

Nota: Correlación de Pearson y Spearman de las variables de la zona estudio. Por Buitrago & López, 2021.

Además, los resultados promedio de la Tabla 8 muestran las correlaciones de las variables de acuerdo a los datos de los puntos de monitoreo en las coberturas y franja horaria para los coeficientes de Pearson y Spearman, como se describen a continuación:

- **Ta Vs RH:** Todas las FH tienen una correlación fuerte de tipo negativa, con valores comprendidos entre -0,879 y -0,925; también la cobertura de TUD es la única que presenta un grado de correlación moderada a pesar de ser negativa, que demuestra una relación baja en sus valores.
- **SVF Vs  $\Delta T_a$ :** Todas las FH presentan una correlación positiva-moderada, a diferencia de la FH 12m-1pm que tiene un grado de correlación fuerte. Las coberturas de PL y BF cuentan con un tipo negativo y grado débil, en comparación a TUD que tiene una correlación negativa-fuerte.
- **SVF Vs WTI:** Las FH 12m-1pm y 2pm-3pm presentan una correlación negativa-fuerte, mientras que las otras FH tienen un grado de correlación moderada. Las coberturas de PL y BF cuentan con un tipo negativo y grado débil, en comparación a TUD que tiene una correlación negativa-moderada.

De esta forma, en la zona de estudio las variables que se asocian, están interactuando con un alto grado de relación lineal conforme al análisis de los datos tomados en campo, respecto a sus FH establecidas y coberturas, que demuestran su dependencia.

Habiendo identificado la correlación de las variables presentadas anteriormente, se realizó un análisis de regresión lineal mediante la técnica de mínimos cuadrados de la cual se obtuvo la ecuación de la recta de cada relación de las FH, coberturas y la zona de estudio como se muestra en la Tabla 9 (**Anexo E**).

Tabla 9. Ecuaciones de la recta de Ta Vs RH, SVF Vs  $\Delta T_a$  y SVF Vs WTI.

| Relación                              | Coeficiente |         | Error  |        | $R^2$  | Ecuación de la recta               |
|---------------------------------------|-------------|---------|--------|--------|--------|------------------------------------|
|                                       | a           | b       | a      | b      |        |                                    |
| <b>Ta Vs RH</b>                       | 174,16      | -3,4917 | 7,01   | 0,213  | 0,867  | $RH = -3,4917 Ta + 174,16$         |
| <b>SVF Vs <math>\Delta T_a</math></b> | 0,8882      | 3,8767  | 0,296  | 0,506  | 0,676  | $\Delta T_a = 3,8767 SVF + 0,8882$ |
| <b>SVF Vs WTI</b>                     | 0,0885      | -0,1035 | 0,0084 | 0,0144 | 0,5899 | $WTI = -0,1035 SVF + 0,0885$       |

Nota: Regresión lineal y ecuaciones de la recta de la zona estudio. Por Buitrago & López, 2021.

En todas las relaciones, el error de los coeficientes a y b de regresión lineal actúa de manera diferente (Alanís-Navarro *et al.*, 2017), puesto que para la relación de SVF Vs WTI en ambos es

menor al 2%, indicando que la regresión lineal es confiable, mientras tanto para Ta Vs RH el coeficiente b es menor al 22% siendo su regresión relativamente confiable, y por último, para ambos en el SVF Vs  $\Delta Ta$  su valor es menor al 50%, de este modo su regresión es regularmente confiable, para estimar los valores específicos de las variables en un amplio intervalo, asimismo el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) oscila entre 0,589 y 0,867 para las tres relaciones estudiadas.

En la Figura 10, se muestra las gráficas de dispersión y la línea de tendencia referentes a las ecuaciones de la recta de la Tabla 9, con base a la relación de Ta Vs RH, SVF Vs  $\Delta Ta$  y SVF Vs WTI en la zona de estudio de las coberturas y FH.

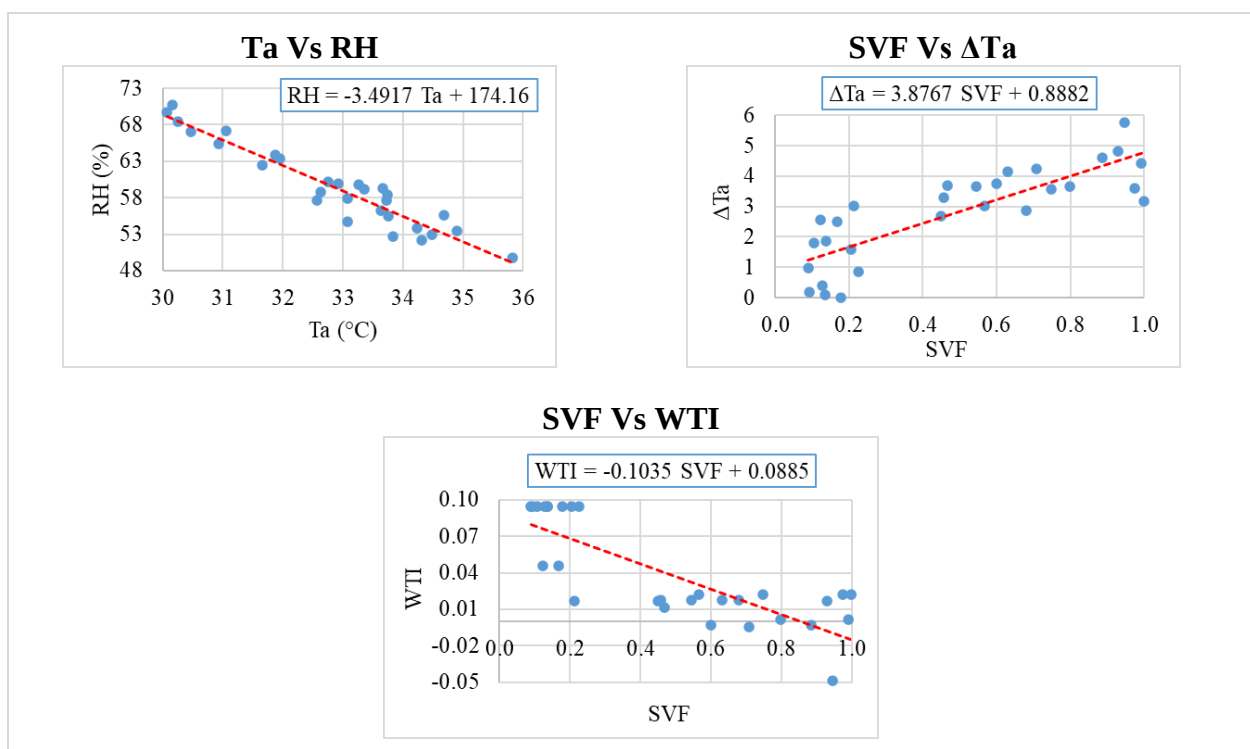


Figura 10. Gráficas de dispersión y línea de tendencia de Ta Vs RH, SVF Vs  $\Delta Ta$  y SVF Vs WTI de la zona de estudio. Por Buitrago & López, 2021.

Las gráficas de dispersión de Ta Vs RH y SVF Vs WTI de la Figura 10, indican que la pendiente es negativa, caso contrario a SVF Vs  $\Delta Ta$  donde la pendiente es positiva. De esta manera, el conjunto de datos obtenidos en campo y sus gráficos nos sirven para obtener un valor de la forma en que se relacionan las variables presentes en todo el sitio de estudio, respecto a sus FH y coberturas (Anexo F).

Partiendo de esto, la Figura 11 muestra la influencia de las variables tomadas en campo con relación a las coberturas del Humedal el Charco-Oasis:

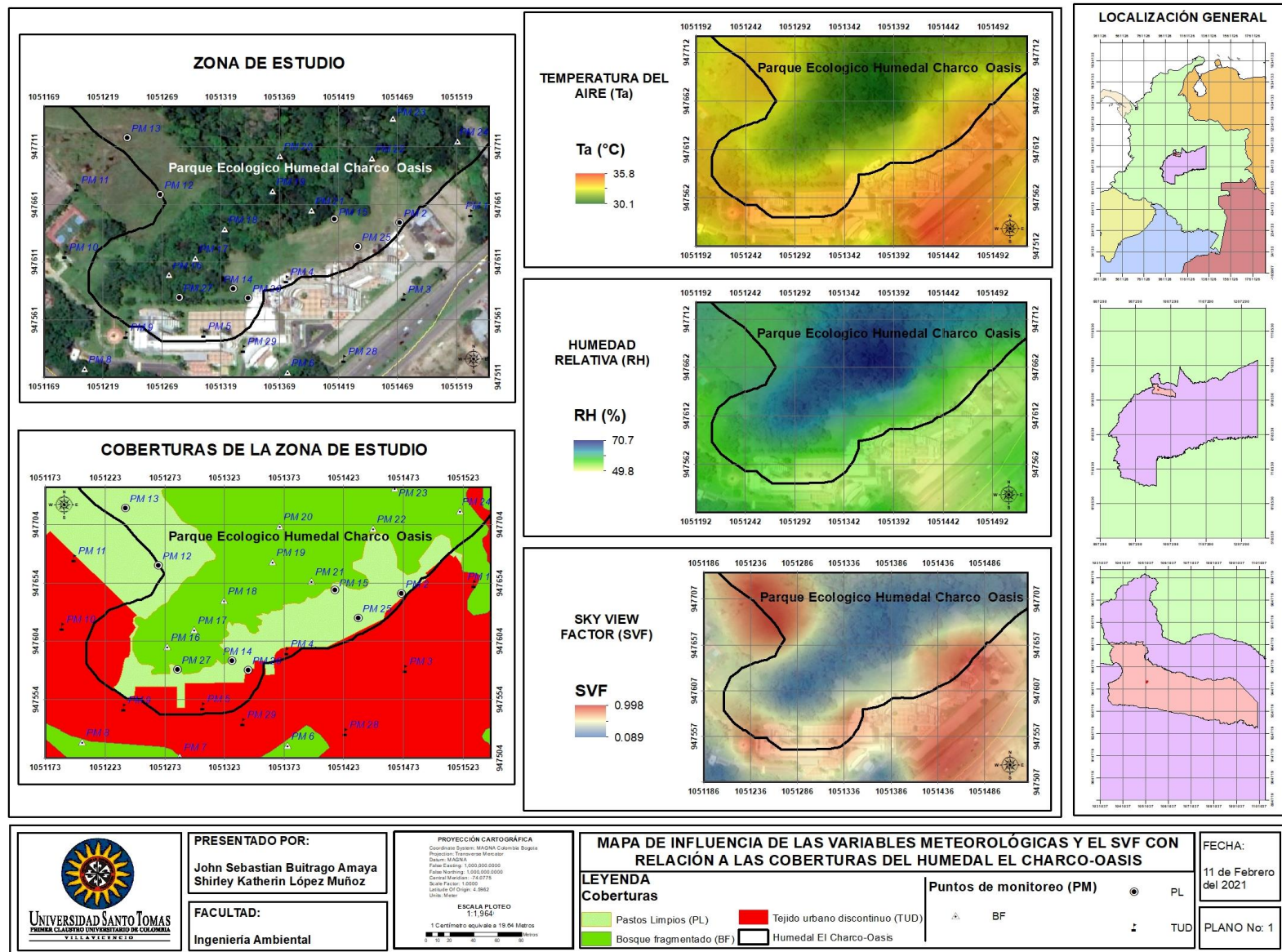


Figura 11. Mapa de influencia de las variables meteorológicas y el SVF con relación a las coberturas del Humedal el Charco-Oasis. Por Buitrago & López, 2021.

- **Temperatura del aire (Ta):** En el mapa se observa mayor Ta en el TUD, en los puntos de monitoreo P1, P3 y P28 con una Ta promedio de 34,9°C, esto causado por la estructura urbana (edificaciones, vías, entre otros) como principal factor, ya que están causando alta absorción de calor y el constante paso vehicular está generando calor por su combustión en la zona urbana (Guillen-Mena & Orellana, 2016).
- **Humedad relativa (RH):** En los puntos de monitoreo P1, P3 y P28 se obtuvo una RH promedio de 52,3%, que demuestra ser proporcional a sus cambios con la Ta, pues a medida que aumenta la Ta, el aire se vuelve más seco disminuyendo la RH, y de modo contrario, al disminuir la Ta, el aire se vuelve más húmedo aumentando la RH. Por esta razón, las zonas con mayor vegetación mejoran el microclima de los entornos urbanos, creando un efecto de enfriamiento, generado por el proceso de evaporación que libera humedad al ambiente (Guillen-Mena & Orellana, 2016).
- **Sky View Factor (SVF):** El factor de cielo visible muestra los puntos de monitoreo P2, P3, P9, P12, P13, P26, P28, que corresponde a las coberturas TUD y PL, al estar expuestos a la luz solar con poca obstrucción, modifican los balances de radiación entre el suelo y aire disminuyendo la evaporación y aumentando la escorrentía superficial (Guillen-Mena & Orellana, 2016).

Así mismo, se graficó un diagrama de línea con los valores hallados de WTI y el promedio de la Ta de los diferentes segmentos desde el borde del Humedal el Charco-Oasis. En la Figura 12 se identifica la regulación del humedal sobre la Ta urbana a diferentes distancias:

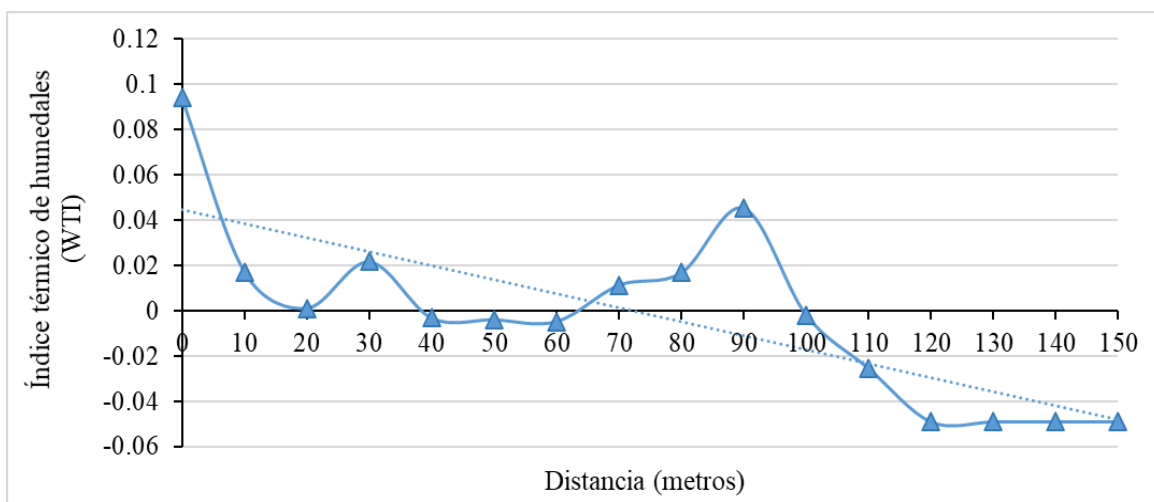


Figura 12. Índice térmico de humedales (WTI) en diferentes radios de amortiguación del humedal urbano el Charco-Oasis. Por Buitrago & López, 2021.

En la Figura 12 se observó que la Ta promedio del Humedal Charco-Oasis es más baja que el borde del área de amortiguamiento de 150 metros de distancia, demostrando por su parte que el índice de regulación térmica de humedales (WTI) está disminuyendo escalonadamente, lo que valida la tendencia de la variación de Ta, RH y SVF cuantitativamente que se observa en la Figura 11, es decir, cuanto más distante esta la zona de amortiguamiento del humedal (límite del humedal hasta el exterior del humedal), mayor es el promedio de Ta y SVF, y menor RH, siendo más débil la regulación del humedal, lo que indica que mayor será la alteración del ambiente térmico. El análisis de la Figura 12, muestra que las distancias comprendidas entre 20 a 40 metros y 70 a 100 metros tienen un aumento en el WTI, este efecto se da por la presencia de territorios cubiertos constituidos por vegetación arbórea que ayudan a mantener y extender el alcance del nivel de regulación térmica del Humedal urbano Charco-Oasis sobre el microclima de la zona, en cambio la distancia entre 40 a 60 metros tiende a hacer inestable por el impacto generado en la regulación del humedal por las estructuras urbanas (**Anexo D**).

Al mismo tiempo, se elaboró un mapa representativo de la Figura 12, que determina el aporte de la regulación térmica del Humedal el Charco-Oasis en la zona de estudio como se muestra en la Figura 13. En el mapa se identificó que en la cobertura de TUD, el punto de monitoreo P28 ubicado al sureste no está siendo regulado por el humedal al obtener -0,049 como valor de WTI, dado a que la Ta máxima alcanza 35,8°C y la RH un 49,8% a una distancia de 120 metros. Esto se debe a la composición del factor urbano por la modificación de uso del suelo (cobertura), de esta manera cuanto más gruesa es la densidad de la infraestructura, se acumula fácilmente el calor y mayor es la intensidad, lo que altera la Ta y RH, además la superficie natural cercana a este punto de monitoreo ha sido remplazada por estructuras artificiales (andenes, vías, entre otros), haciendo que el albedo disminuya, pues la concentración de calor es constante tal cual lo expresa un SVF de 0,946 con una alta incidencia de radiación solar, un ejemplo es el asfalto, un material de construcción que concentra y almacena calor durante el día (Wang & Zhu, 2011; Rojas Palomino, 2013). Por otro lado, la falta de vegetación es otro componente importante que provoca la modificación del microclima local afectando la regulación del humedal, ya que esta puede absorber el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y otros gases de efecto invernadero, emitidos por la combustión que genera el frecuente paso vehicular (Guillen-Mena & Orellana, 2016; Rosatto *et al.*, 2016).

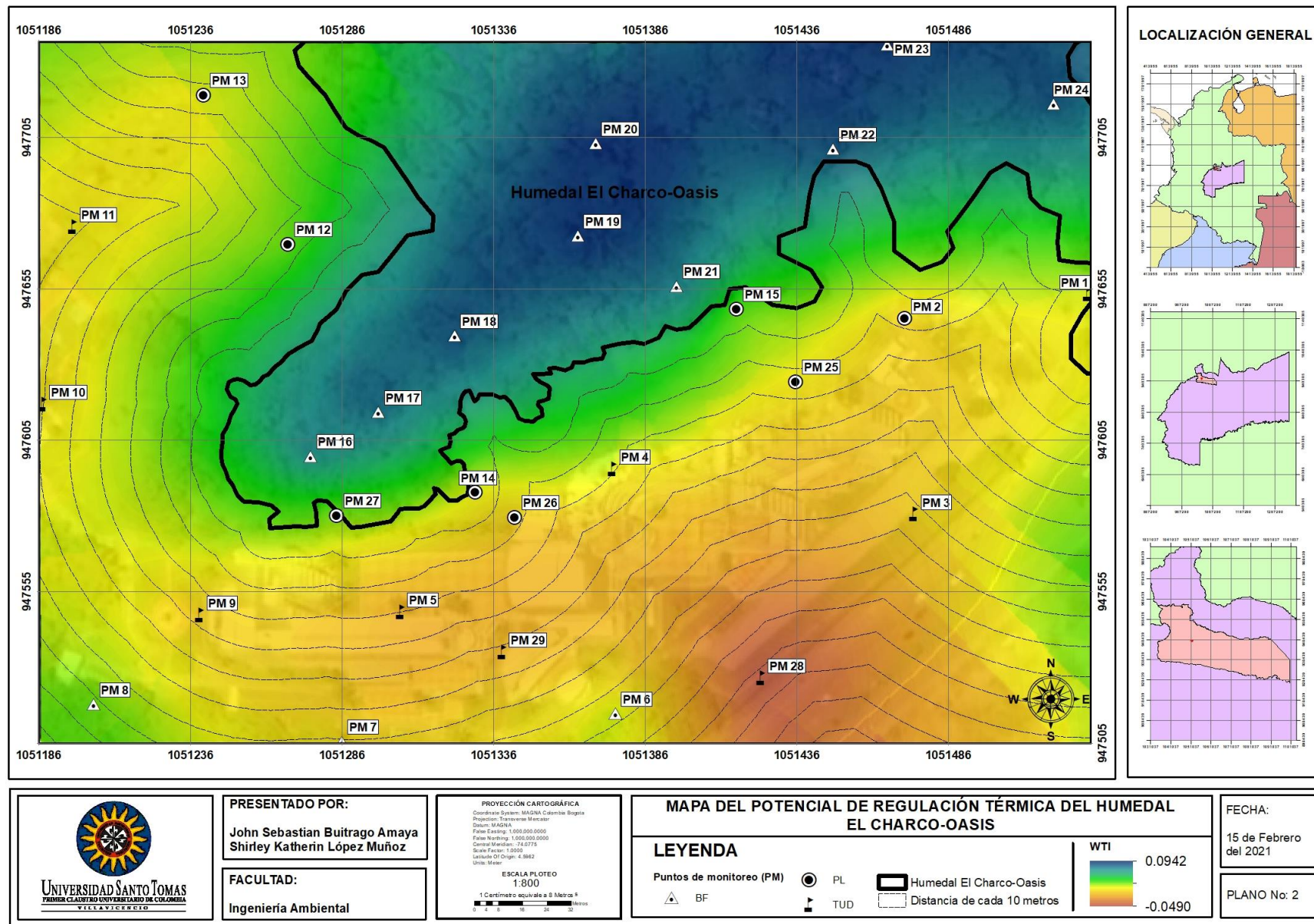


Figura 13. Mapa del potencial de regulación térmica del Humedal el Charco-Oasis. Por Buitrago & López, 2021.

También se destaca que los puntos de monitoreo P6, P7 y P8 pertenecientes a la cobertura de BF, están mostrando respecto a los datos obtenidos que la conectividad con un territorio constituido por una cubierta de vegetación arbórea ayuda a extender la regulación térmica del Humedal Charco-Oasis, conforme al área que abarca dentro de la superficie urbana, favoreciendo el aporte de este servicio ecosistémico a una distancia de 70 o 90 metros desde el límite del humedal. Así mismo los puntos de monitoreo que a mayor distancia están siendo regulados aproximadamente  $2,7^{\circ}\text{C}$  por el Humedal el Charco-Oasis son el P3 y P11 correspondientes a la cobertura de TUD, alcanzando una distancia desde el borde del humedal entre 70 a 80 metros.

Finalmente, se determinó que el Humedal el Charco-Oasis está aportando a la regulación térmica como servicio ecosistémico prestado, en un área cercana de 4,35 o 4,91 ha de acuerdo al mapa de la Figura 13, entre las distancias de 70 a 90 metros, regulando  $3,4^{\circ}\text{C}$  desde el límite del humedal hasta los 90 metros del área de amortiguación. Así pues, el índice de regulación térmica comprendido entre el rango de 0,0012 a 0,0943 indica que cuando mayor es el WTI, más notable es la regulación térmica del humedal, en otras palabras, cuanto más cerca esta del humedal urbano, mayor será el aporte del humedal en cuanto a la regulación térmica, medida según el WTI.

## 10. Discusión de resultados

A partir de la metodología implementada, fue posible obtener los resultados que desde el inicio se habían propuesto, dado que se logró reconocer y cuantificar las coberturas de la intervención actual del Humedal Charco-Oasis, que fueron caracterizadas mediante la metodología *Corine Land Cover* adaptada para Colombia por el IDEAM, lo cual permitió identificar tres tipos de cobertura presentes (TUD, PL y BF) en la zona de estudio con su respectiva área, a través de la fotointerpretación de imágenes satelitales que definen la interpretación de la cobertura con la aplicación de las herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), parecido al estudio realizado por Lamprea (2017), donde realizó la clasificación de las coberturas correspondientes al municipio de Zipaquirá a una escala 1:100.000, calculando el porcentaje del área de diez tipos de cobertura generadas de la superficie territorial para contribuir en estrategias con base a los lineamientos de la ocupación del territorio.

El software RayMan Pro fue una herramienta esencial para interpretar el comportamiento urbano del SVF en el proyecto, al permitir calcular la incidencia de radiación solar de la dimensión que ocupa el área de la forma urbana en cada fotografía, considerando que esta variable tiene una estrecha relación con la Ta y RH, representada por la interacción dada en las FH establecidas, que están condicionando el microclima local en el área de estudio Humedal el Charco - Oasis por las características de las coberturas, como la absorción, retención de calor de la infraestructura, presencia de la vegetación y exposición solar. Un caso similar a este es el estudio de Bauche *et al.* (2013), que muestra el efecto de las estructuras urbanas en los índices de confort térmico al examinar las zonas urbanas en Birobidzhan, con diferente vegetación e infraestructuras con alta densidad de acumulación de calor que influye en la planificación urbana del microclima local de la región, determinando que los valores de SVF correspondientes a cada ubicación de la zona urbana están estableciendo el comportamiento o adaptación del microclima.

Por otro lado, se logró identificar que los valores obtenidos de las variables de Ta y RH son inversamente proporcionales para todas las coberturas identificadas, destacando que la Ta disminuye y aumenta la RH para la cobertura de BF, debido a que existe una mayor abundancia de vegetación arbórea, caso contrario al TUD que actúa en ambas variables de forma opuesta, por

el calor retenido constantemente de las propiedades térmicas de sus materiales, además de haber una zona de transición que es la cobertura de PL, donde se da la mayor variabilidad de la Ta y RH de los datos tomados en campo. En relación con este tema, Guillen & Orellana (2016) exponen que la vegetación arbórea urbana sirve para diagnosticar las condiciones climáticas de la ciudad y establecer un rango de aprovechamiento de las variables de Ta y RH en espacios públicos urbanos, demostrando que se puede reducir el nivel de contaminación en el aire y mejorar el confort térmico de los residentes de la zona.

La correlación lineal del promedio de los coeficientes de Pearson y Spearman de la relación de las variables de Ta, RH, SVF,  $\Delta Ta$  y WTI determinó que los valores obtenidos en el estudio muestran una correlación fuerte de tipo positiva de SVF Vs  $\Delta Ta$ , a diferencia de Ta Vs RH y SVF Vs WTI que presentan una correlación fuerte y moderada de tipo negativa de los datos de la zona de estudio de acuerdo a su cobertura y FH establecidas, haciendo fiable el estudio por su alto grado de relación lineal, ya que se validó el conjunto de datos obtenidos en campo con la ecuación de la recta de cada relación mediante un análisis de regresión lineal con la técnica de mínimos cuadrados, que indicó un buen nivel de confiabilidad de los coeficientes a y b de las tres relaciones estimadas de las variables en un amplio intervalo, además el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) oscila entre 0,589 y 0,867 para las variables de menor y mayor grado de correlación. Tal cual se presenta en el artículo de correlación y regresión lineal de variables climatológicas para el diseño ecotecnologías y arquitectura bioclimática de Alanís-Navarro *et al.* (2017), donde emplean técnicas de muestreo estadístico estratificado para poblaciones finitas y la misma metodología empleada para obtener un conjunto de ecuaciones y gráficos que utilizan como guía de diseño de ecotecnologías en cualquier zona geográfica, a diferencia de este proyecto que busca evaluar la relación de la cobertura con las variables.

Cabe resaltar, que se pudo evaluar la relación de las variables de Ta, RH y SVF con las coberturas, mediante un análisis ambiental del servicio ecosistémico de regulación térmica que aporta el Humedal el Charco-Oasis al microclima de la zona estudio, al determinarse con el índice de regulación térmica de humedales (WTI) la alteración del ambiente térmico, a través de la variación de Ta, RH y SFV desde el límite de humedal hasta una distancia de amortiguamiento de 150 metros, indicando que cuanto más distante esta del borde del humedal, mayor es el promedio de Ta y SVF, y menor RH. Igualmente, es importante aclarar que con el cálculo obtenido de WTI

comprendido entre el rango de 0,0012 a 0,0943 del humedal urbano el Charco-Oasis, se está regulando 3,4°C desde el límite hasta los 90 metros del área de amortiguación, lo que evidenció que cuando mayor es el WTI, más notable es la regulación térmica del humedal. En referencia a este tema, la metodología expuesta por Wang & Zhu (2011) del cálculo de WTI, arrojó resultados similares en el mapa de WTI, con base a la regulación del humedal urbano Xixi de Hangzhou-China sobre la temperatura urbana con el uso de imágenes de detección remota *Landsat TM*, donde se demostró que el humedal Xixi tiene una buena regulación de la temperatura urbana, y cuanto más cerca este la zona urbana del humedal, será más notable la regulación de la temperatura, dado que el rango de regulación y la extensión puede variar debido a los tipos de humedales, como la proporción, el patrón de distribución del agua, la vegetación y otros tipos de paisajes. En comparación al estudio de Wang & Zhu (2011), se puede decir que la conectividad con un territorio constituido por una cubierta de vegetación arbórea ayuda a extender la regulación térmica del Humedal Charco-Oasis, lo que favorece el aporte de este servicio ecosistémico.

## 11. Impacto social y humanístico

Con el presente trabajo de investigación se genera un documento como instrumento para la toma de decisiones en los planes de manejo de conservación y desarrollo sostenible de los recursos naturales del Humedal el Charco-Oasis dentro del ordenamiento territorial de la ciudad de Villavicencio, que tiene como objetivo determinar el aporte en la regulación térmica de este ecosistema a un sector de la ciudad. En este trabajo se estableció una metodología práctica para identificar la capacidad de regulación térmica de un humedal como servicio ecosistémico suministrado, para que las autoridades ambientales y la comunidad comprendan la importancia de estos ecosistemas y sus beneficios ambientales (suministro de agua, mitigación al cambio climático, control de inundaciones, entre otros), que garantizan la amortiguación de los cambios severos de la naturaleza y la biodiversidad del planeta, lo que asimismo mejora la calidad de vida para la población.

De esta manera, con el fin de afianzar el seguimiento, actualización y evaluación de los instrumentos de gestión ambiental de estos ecosistemas acuáticos, teniendo en cuenta la importancia estratégica que tienen en el desarrollo actual y futuro de la ciudad de Villavicencio, se están dando elementos a la comunidad para que comprendan la importancia de los humedales con base a los beneficios obtenidos del servicio ecosistémico de regulación térmica y que contribuyan a la conservación de los humedales. A partir de esto, se fundamenta que este estudio servirá como base principal para la investigación de humedales en futuros proyectos, donde se infiere que:

- El humedal urbano el Charco-Oasis está aportando en la regulación térmica de la zona estudio con un 2,7°C a 3,4°C de forma discontinua en los horarios de 10:00 am a 3:00 pm, disminuyendo de manera gradual desde el borde del humedal hasta la zona exterior del mismo.
- El humedal urbano el Charco-Oasis está favoreciendo a disminuir la temperatura en la ciudad de Villavicencio.
- Determinar el potencial de regulación térmica de los humedales existentes en la ciudad de Villavicencio, servirá para definir el aporte que brinda este servicio ecosistémico prestado de regulación y la comprensión del clima urbano.

## 12. Conclusiones

A partir de la caracterización geoespacial, se identificó tres tipos de cobertura presentes en la zona de intervención actual del humedal el Charco-Oasis, que cuentan con un total de 13, 211 ha. Las coberturas que se reconocieron acorde la leyenda Nacional *Corine Land Cover* son: Territorios Artificializados - Zonas Urbanizadas (Tejido Urbano Discontinuo) con edificaciones, vías e infraestructuras dispersas; Territorios Agrícolas - Pastos (Pastos Limpios) alterados por actividades antrópicas con tierras cubiertas en hierba; y por último, Bosque y Áreas Seminaturales - Bosques (Bosque Natural Fragmentado) conformado por un bosque de galería secundario intervenido por actividad antrópica, que corresponden a un 42,98% (TUD), 17,37% (PL) y 39,65% (BF) respectivamente de la cobertura de la tierra del área de estudio.

Además, se comprendió que el SVF depende de los obstáculos o terreno presentes en la cobertura, que influye en la incidencia de luz en cada punto de monitoreo, de esta forma se determinó que la radiación solar presente en las coberturas tiene los siguientes rangos: TUD (44,9% - 94,6%), PL (45,7% - 99,8%) y BF (8,9% - 22,6%), condicionados por las características de la cobertura tales como el almacenamiento de calor de la infraestructura, comportamiento térmico, aumento de la temperatura y presencia de vegetación. Considerando lo anterior, también se estableció que existe una estrecha relación del SVF con las variables de Ta y RH, pues al interactuar en las FH establecidas, está alterando la Ta en 5,8°C y la RH en 20,9% dentro de las coberturas, definiendo el comportamiento del microclima local de la zona de estudio del humedal El Charco-Oasis.

Según los resultados de estadística descriptiva, las variables de Ta y RH actúan de forma inversamente proporcional en la distribución de sus datos según su cobertura, donde se evidenció que la cobertura de PL es la zona de transición entre BF y TUD, en la cual hay mayor variabilidad promedio de Ta con 33,5° y RH 57,9% por su poca presencia de vegetación y construcciones. A diferencia de BF que su Ta disminuyó 2,2 °C y la RH aumento 6,1% al existir una mayor abundancia de vegetación arbórea (humedal) y TUD donde su Ta aumentó 0,6 °C y RH disminuyó 3,7% debido a que su estructura urbana retiene calor constantemente porque sus materiales no cambian las propiedades térmicas.

El promedio de la correlación lineal de los coeficientes de Pearson y Spearman indicó que la relación de Ta Vs RH y SVF Vs WTI presenta una correlación fuerte y moderada de tipo negativa, con un promedio de -0.768 y -0,931. En comparación a SVF Vs  $\Delta$ Ta que demostró una correlación fuerte-positiva con un valor de 0,822 en la zona de estudio. También se identificó que la correlación de Ta Vs RH (-0,69 a -0,949) y SVF Vs  $\Delta$ Ta (0,192 a 0,94) actúa de forma gradual en todas las coberturas, caso distinto de SVF Vs WTI que tuvo un declive para la cobertura PL con un coeficiente promedio de -0,01 siendo casi nula la relación. Por otro lado, se obtuvo en SVF Vs  $\Delta$ Ta y SVF Vs WTI que la cobertura TUD en diferencia a BF y PL es la única con un alto grado de relación, y de igual manera Ta Vs RH en todas sus FH con valores comprendidos entre -0,879 y -0,925.

En las ecuaciones de la recta para estimar los valores específicos en las relaciones designadas, se presentó que: SVF Vs WTI es confiable al ser menor ambos con un 2%, Ta vs RH es relativamente confiable con un 22% en b y SVF Vs  $\Delta$ Ta su valor es menor al 50% en ambos siendo regularmente confiable. Además, se observó que el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) oscila entre 0,589 y 0,867.

Asimismo, la influencia de la Ta, RH y SVF con relación a las coberturas identificadas en la zona de estudio del Humedal El Charco-Oasis, demostró para los puntos de monitoreo P1, P3 y P28 de la cobertura de TUD que su Ta promedio con 34,9 °C y su RH con 52,3% es causada por la modificación de la superficie urbana y la combustión generada por el paso vehicular. Igualmente, se observó en los puntos de monitoreo P2, P3, P9, P12, P13, P26 y P28, correspondientes a las coberturas TUD y PL, que estos tienen una mayor incidencia de radiación solar con un rango entre 79,9% y 99,8% según el valor obtenido del SVF.

Mediante el índice de regulación térmica de humedales (WTI) se determinó que la Ta está disminuyendo escalonadamente desde el límite del humedal hasta un área de amortiguamiento de 150 metros de distancia, donde se identificó que el punto de monitoreo P28 de la cobertura TUD a una distancia de 120 metros, no es regulado por el humedal, ya que su Ta = 35,8 °C y la RH = 49,8% están sobrepasando el valor promedio de referencia designado de la Ta de 34,1 °C y RH de 54,2% en la zona de estudio, haciendo que el albedo también disminuya la incidencia de radiación solar por el tipo de cobertura, como lo muestra el SVF con un valor de 0,946. Por otro lado, la

presencia de vegetación arbórea extiende la regulación térmica del humedal de los puntos de monitoreo P6, P7 y P8 de la cobertura de BF a una distancia de 120 o 150 metros.

Finalmente, se concluye que el Humedal urbano el Charco-Oasis está aportando a la regulación térmica, en un área cercana a 4,91 ha, extendiendo su servicio ecosistémico por medio de un territorio constituido por una cubierta de vegetación arbórea, regulando 2,7°C a 3,4°C desde el límite del humedal hasta los 90 metros de distancia del área de amortiguación al sur de forma discontinua, por el TUD que incide en su reducción del aporte continuo de regulación térmica, afirmándose que cuanto más cerca este del humedal, mayor será el aporte que brinda el humedal, a pesar de los impactos negativos presentes sobre este ecosistema.

### 13. Recomendaciones

- Conforme al estudio se recomienda realizar un análisis del reconocimiento de las coberturas con otra metodología distinta a la *Corine Land Cover*, con más detalles específicos adaptados a la zonificación de áreas con coberturas menos extensas, ya que las descripciones y criterios rectores desarrollados para la caracterización de la cubierta biofísica de la tierra según la leyenda nacional de este método, comprenden de una unidad mínima de cartografía a una escala 1:100.000 (25 ha).
- Se recomienda realizar la distribución de los puntos de monitoreo de forma equidistante con la ayuda de varios segmentos, puesto que facilitaría establecer una ruta de monitoreo con menos empleabilidad de tiempo, y a su vez se observaría a través de un procesamiento de la información, un mapa de manera más específica con resultados muy homogéneos de las variables de la Ta, RH y SVF de la zona de estudio.
- El uso de software RayMan Pro 3.1 se recomienda para la transformación de la fotografía ojo pez y el cálculo el *Sky View Factor* (SVF) de cualquier ubicación geográfica definida, debido a que su valor obtenido en relación con las variables de Ta y RH, permite determinar la comprensión del microclima local urbano de manera más precisa de las condiciones climáticas.
- Se recomienda interactuar más con el software RayMan Pro 3.1 con el fin de conocer sus funciones y herramientas, dado que sirve para estudiar otras características que influyen el clima urbano de un lugar como la duración del sol, rutas u órbitas solares y la sombra, además de incluir el cálculo de los índices térmicos de Voto Medio Previsto (PMV), Temperatura Fisiológicamente Equivalente (PET), Temperatura Efectiva Estándar (SET), Índice de Clima Térmico Universal (UTCI), Temperatura Percibida (PT) y la Temperatura Fisiológicamente Equivalente Modificada (mPET).
- Se recomienda utilizar el Índice Térmico de Humedales (WTI) para definir el aporte del potencial de regulación térmica de cualquier humedal, ya que su metodología establece fácilmente el área de amortiguación y distancia de regulación de este ecosistema, al identificar notablemente la intensidad con que se distribuye en la zona urbana.
- Se recomienda la reforestación con territorios cubiertos constituidos por vegetación arbórea (bosques), en razón de que su existencia a determinada distancia del Humedal el Charco-Oasis,

potencia la regulación térmica del ecosistema a una mayor área, favoreciendo la disminución de las temperaturas urbanas dentro de la ciudad de Villavicencio.

- Se recomienda realizar estudios orientados a identificar el aporte del potencial de regulación térmica de los humedales de la ciudad de Villavicencio, siendo precursores de esta temática en el país, ya que en la bibliografía actual no se han realizado investigaciones sobre este tipo de ecosistema en Colombia, del servicio ecosistémico prestado de regulación al clima urbano.
- Por último, se recomienda llevar a cabo planes de manejo de conservación y desarrollo sostenible de los recursos naturales del Humedal el Charco-Oasis dentro del ordenamiento territorial de la ciudad de Villavicencio por parte de las autoridades ambientales para mantener los servicios ecosistémicos que presta.

## 14. Bibliografía

- Aguilera Fuenzalida, A. A. (16 de Junio de 2014). Valoración de Servicios Ecosistémicos de la Vegetación Urbana en una Ciudad Desértica - Caso de estudio Ciudad de Antofagasta. *Trabajo de grado*. Universidad Católica de Chile. Obtenido de Instituto de estudios urbanos y territoriales - Facultad de arquitectura, diseño y estudios urbanos: <https://estudiosurbanos.uc.cl/en/exalumnos/valoracion-de-servicios-ecosistemicos-de-la-vegetacion-urbana-en-una-ciudad-desertica-caso-de-estudio-ciudad-de-antofagasta/>
- Alanís-Navarro, J., Casarrubias-Bahena, D., Alanís-Cantú, R., & Lavín-Delgado, J. (Diciembre de 2017). Correlación y regresión lineal de variables climatológicas para el diseño ecotecnologías y arquitectura bioclimática. *Revista de Arquitectura y Diseño*, 1(2), 1-12. Obtenido de [https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Arquitectura\\_y\\_Diseño/vol1num2/Revista\\_de\\_Arquitectura\\_y\\_Dise%C3%B1o\\_V1\\_N2\\_1.pdf](https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Arquitectura_y_Diseño/vol1num2/Revista_de_Arquitectura_y_Dise%C3%B1o_V1_N2_1.pdf)
- Alcaldía de Villavicencio. (25 de Julio de 2017). *Alcaldía de Villavicencio - Meta*. Obtenido de Villavicencio - Cambia contigo: <http://www.villavicencio.gov.co/NuestraAlcaldia/SalaDePrensa/Paginas/Gobierno-%E2%80%98Unidos-Podemos%E2%80%99-cre%C3%B3-el-Comit%C3%A9-Interinstitucional-de-Humedales.aspx>
- Bauche, J. P., Grigorieva, E. A., & Matzarakis, A. (2013). Human-Biometeorological Assessment of Urban Structures in Extreme Climate Conditions: The Example of Birobidzhan, Russian Far East. *Advances in Meteorology*, 2013(ID de artículo 749270), 10. doi:<http://dx.doi.org/10.1155/2013/749270>
- Blamis. (2020). *Dotaciones laboratorio*. Obtenido de Blamis: <https://www.blamis.com.co/product/termohigrometro-con-alarma-50-a-70c-minimas-y-maximas-humadad-2099>
- Cáceres Uribe, A. N. (8 de Julio de 2019). Estudio de los cuerpos lénticos en el escenario de cambio climático, una mirada a Colombia. *Revista Pertinencia Académica*, 3(3), 29-50. doi:<https://doi.org/10.5281/zenodo.3516301>

- CAR. (2011). *Humedales del Territorio CAR - Consolidación del sistema de Humedales de la jurisdicción CAR Cundinamarca*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia. Obtenido de Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR: <http://sie.car.gov.co/handle/20.500.11786/33709?show=full>
- Carrasco, C., Palme, M., & Gálvez, M. A. (30 de Noviembre de 2016). Factor de cielo visible y el efecto isla de calor en Valparaíso. *Revista Urbano*, 34, 26-33. Obtenido de <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RU/article/view/2614>
- Cormacarena. (17 de Junio de 2011). *Acuerdo No.PS-GJ.1.2.42.2.11.011*. Obtenido de Cormacarena - Acuerdos: <https://www.cormacarena.gov.co/normatividad/acuerdos/#:~:text=2011%2D07%2D06-,ACUERDO%20NO.,SE%20C3%91ALADA%20EN%20EL%20DECRETO%20NO.>
- Cruz Angón, A., Rivera Rebolledo, J. A., Cabrera Aguirre, E. G., Melgarejo, E. D., Perdomo Velásquez, H., & Contreras Ruiz Esparza, A. V. (2016). *Biodiversidad en la ciudad de México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal (SEDEMA). Obtenido de [https://www.academia.edu/42331737/La\\_biodiversidad\\_en\\_la\\_ciudad\\_de\\_Mexico](https://www.academia.edu/42331737/La_biodiversidad_en_la_ciudad_de_Mexico)
- De Groot, R. S., Matthew A., W., & Boumans, R. M. (Junio de 2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408. doi:[https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- Di Gregorio, A. (2005). Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra (LCCS): Conceptos de Clasificación y Manual del Usuario. En *Servicio de medio ambiente y recursos naturales (SDRN) GCP / RAF / 287 / ITA Africover - Proyecto de África Oriental servicio de recursos, manejo y conservación de suelos (AGLS)* (págs. 1-157). Roma: FAO.
- FAO. (2020). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de Servicios ecosistémicos y biodiversidad: <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/regulating-services/es/#:~:text=El%20mantenimiento%20de%20la%20calidad,regulaci%C3%B3n%E2%80%9D%20proporcionados%20por%20los%20ecosistemas.>

- Garay, J., Garay, A., Murillo, A., Olivero, B., Pérez, C., Gómez, D., . . . Ortiz, M. L. (Agosto de 2019). *Áreas protegidas: ARPEH Coroncoro y Charco-Oasis, RFP Bunavista y Vanguardia; Y DCS Kirpas-Pinilla de Villavicencio-Meta*. doi:<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.31251.02084>
- Guillen-Mena, V., & Orellana, D. (Septiembre de 2016). The influence of urban trees to reduce the level of Pollution and achieve climate comfort. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, 67-75. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25558>
- Hou, P., Chen, Y., Qiao, W., Cao, G., Jiang, W., & Li, J. (Enero de 2013). Near-surface air temperature retrieval from satellite images and influence by wetlands in urban region. *Theoretical and Applied Climatology*, 111, 109-108. doi:<https://doi.org/10.1007/s00704-012-0629-7>
- Hurtado Espinosa, N., Quintero Valdez, Y., & Ramírez Valencia, J. (20 de Septiembre de 2013). Evaluación ecológica y ambiental del humedal Aguas Claras, Barrio la Alborada, Villavicencio - Meta. *Trabajo de grado*. Obtenido de Universidad Nacional abierta y a distancia (UNAD): [https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/1420/1/Humedad\\_40394150.pdf](https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/1420/1/Humedad_40394150.pdf)
- IDEAM. (2010). *Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021521/LIBROCORINEFINAL.pdf>
- IDEAM. (2018). *Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia*. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: [http://www.ideam.gov.co/documents/24277/72007220/PDF\\_ATLAS/83b33ddd-09ef-4fa6-9419-cdf8b26db260](http://www.ideam.gov.co/documents/24277/72007220/PDF_ATLAS/83b33ddd-09ef-4fa6-9419-cdf8b26db260)
- Instituto Humboldt. (2015). *Humedales y su aporte frente a los efectos del cambio climático*. Obtenido de Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Colombia: <http://www.humboldt.org.co/es/actualidad/item/1308-humedales-y-su-aporte-frente-a-los-efectos-del-cambio-climatico>

- Lamprea Avellaneda, F. A. (2017). Zonificación de las coberturas de la tierra mediante la aplicación de herramientas SIG para la revisión y ajustes del P.O.T en el marco del crecimiento urbano y conurbación norte: Caso municipio de Zipaquirá. *Trabajo de grado*, 60. Bogotá: Repositorio institucional - Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/25625>
- Matzarakis, A. (28 de Abril de 2018). *RayMan Pro - A tool for Applied Climatology*. Freiburg: Research Centre Human Biometeorology - German Meteorological Service. Obtenido de <https://www.urbanclimate.net/rayman/RayManManual.pdf>
- Middel, A., Lukasczyk, J., & Maciejewski, R. (27 de Marzo de 2017). Sky View Factors from Synthetic Fisheye Photos for Thermal Comfort Routing - A Case Study in Phoenix, Arizona. *Urban Planning*, 2(1), 19-30. doi:<http://dx.doi.org/10.17645/up.v2i1.855>
- Middel, A., Lukasczyk, J., Maciejewski, R., Demuzere, M., & Roth, M. (26 de Mayo de 2018). Sky View Factor footprints for urban climate modeling. *Urban Climate*, 25, 120-134. doi:<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.05.004>
- MinAmbiente. (2017). *Biodiversidad y servicios ecosistémicos en la planificación y gestión ambiental urbana*. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: [https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Estructura\\_/BIODIVERSIDAD\\_Y\\_SERVICIOS\\_ECOSISTEMICOS\\_EN\\_LA\\_PLANIFICACION\\_Y\\_GESTION\\_AMBIENTAL\\_URBANA.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Estructura_/BIODIVERSIDAD_Y_SERVICIOS_ECOSISTEMICOS_EN_LA_PLANIFICACION_Y_GESTION_AMBIENTAL_URBANA.pdf)
- Moya, B., Hernández, A., & Borrell, H. (8 de Marzo de 2005). Los humedales ante el cambio climático. *Investigaciones Geográficas*(37), 127-132. doi:<https://doi.org/10.14198/INGEO2005.37.07>
- Ortiz Moreno, M. L. (Diciembre de 2018). *Micoflora preliminar del Humedal El Charco-Oasis, Villavicencio*. Obtenido de researchgate: [https://www.researchgate.net/publication/330102738\\_MICOFLOA\\_PRELIMINAR\\_D\\_EL\\_HUMEDAL\\_EL\\_CHARCO-OASIS\\_VILLAVICENCIO?enrichId=rgreq-4fad65bb61e74ced13a6539c4cec8f57-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMzMDEwMjc3ODtBUzo3MTA4NTE4NDk4ODc3NDVAMTU0NjQ5MTY5NjE4NQ%3D%3D](https://www.researchgate.net/publication/330102738_MICOFLOA_PRELIMINAR_D_EL_HUMEDAL_EL_CHARCO-OASIS_VILLAVICENCIO?enrichId=rgreq-4fad65bb61e74ced13a6539c4cec8f57-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMzMDEwMjc3ODtBUzo3MTA4NTE4NDk4ODc3NDVAMTU0NjQ5MTY5NjE4NQ%3D%3D)
- Ortiz, J. (2019). *Los múltiples beneficios de los humedales urbanos*. Obtenido de Centro de desarrollo urbano sustentable (CEDEUS): <https://www.cedeus.cl/los-multiples-beneficios->

de-los-humedales-

urbanos/#:~:text=Y%20se%20proyecta%20que%20el,ser%20una%20fuente%20de%20agua.

- Peng, H., Wei-guo, J., & Guang-zhen, C. (Mayo de 2010). Quantitative analyses of thermal regulation function of urban wetland. *Journal of Beijing Forestry University*, 32(3), 191-196. Obtenido de Journal of Beijing Forestry University: <http://j.bjfu.edu.cn/en/article/id/9401>
- Ramsar. (18 de Junio de 1998). *Ramsar Sites Information Service*. Obtenido de Ramsar: <https://rsis.ramsar.org/ris/951>
- Ramsar. (Marzo de 2015). *Nota informativa Ramsar 7*. Obtenido de Secretaría de la Convención de Ramsar: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/bn7s.pdf>
- Ramsar. (28 de Marzo de 2018). *Bolivia, Brasil y Paraguay han firmado la declaración histórica que insta a la conservación y el desarrollo sostenible del Pantanal*. Obtenido de Ramsar: <https://www.ramsar.org/es/nuevas/bolivia-brasil-y-paraguay-han-firmado-la-declaracion-historica-que-insta-a-la-conservacion-y>
- Ramsar. (2 de Febrero de 2018). *Los humedales urbanos: Terrenos valiosos, no terrenos baldíos*. Obtenido de Ramsar: [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/wwd18\\_handouts\\_spanish.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/wwd18_handouts_spanish.pdf)
- Ramsar. (2018). *Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas*. Gland, Suiza: Secretaría de la Convención de Ramsar. Obtenido de Ramsar: [https://www.ramsar.org/sites/default/files/flipbooks/ramsar\\_gwo\\_spanish\\_web.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/flipbooks/ramsar_gwo_spanish_web.pdf)
- Ramsar. (2019). *Fundación AQUAE*. Obtenido de La fundación del Agua: <https://www.fundacionaquae.org/el-humedal-un-arma-efectiva-y-natural-contra-el-cambio-climatico/>
- Rojas Palomino, C. M. (2013). Análisis de especies arbóreas urbanas que ofrecen mayores niveles de confort dentro del Parque El Virrey, Bogotá D.C. *Trabajo de grado*. Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10554/12463>
- Rosales Arriaga, E. R. (26 de Febrero de 2011). Análisis de métodos alternativos para obtener información de temperatura del aire y estimar evapotranspiración usando imágenes

- satelitales. *Trabajo de grado*. México. Obtenido de CentroGeo - Repositorio institucional: <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1012/60>
- Rosatto, H., Botta, G. F., Becerra, A., Tardito, H., & Leveratto, M. (30 de Junio de 2016). Problemáticas del cambio climático en la ciudad autónoma de Buenos Aires - Aportes de las cubiertas vegetales en la regulación térmica. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 48(1), 197-209. Obtenido de <http://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCA/article/view/3239>
- Rubiano Calderón, K. D. (24 de Julio de 2019). Distribution of the green infrastructure and its thermal regulation capacity in Bogotá, Colombia. *Colombia Forestal*, 22(2), 83-100. doi:<https://doi.org/10.14483/2256201x.14304>
- SASGIS. (12 de Diciembre de 2020). *Mapeo y navegación Web*. Obtenido de <http://www.sasgis.org/download/>
- Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá. (2018). *Estudios de soporte requeridos para la solicitud de sustracción para la reserva forestal productora regional Thomas van der Hammen en contexto con la UPR Norte y con la red de paisaje circundante - Propuesta de zonificación ambiental*. Obtenido de Jurisdicción CAR: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5c5a00db18cb0.pdf>
- Servicio Geológico de los Estados Unidos. (2020). *USGS - Science for a changing world*. Obtenido de Earth Explorer: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Suárez Nieva, J. J., & García Beltrán, E. A. (7 de Marzo de 2018). El impacto ambiental ocasionado por la reducción del humedal el Charco en el municipio de Villavicencio - Meta. *Trabajo de grado*. Villavicencio, Colombia. Obtenido de Repositorio Institucional UCC: <http://hdl.handle.net/20.500.12494/4119>
- Tumini, I. (2012). El microclima urbano en los espacios abiertos: Estudio de casos Madrid. *Trabajo de grado*. Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de Archivo Digital UPM: <http://oa.upm.es/14893/>
- Wang, C.-y., & Zhu, W.-p. (20 de Diciembre de 2011). Analysis of the Impact of Urban Wetland on Urban Temperature Based on Remote Sensing Technology. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 1546 - 1552. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.246>

## 15. Anexos

Anexo A. Codificación de las unidades de coberturas de la tierra de acuerdo con la metodología *Corine Land Cover* adaptada para Colombia. Por (IDEAM, 2020).

| 1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS                               | 3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES                 |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1.1. Zonas urbanizadas                                        | 3.1. Bosques                                     |
| 1.1.1. Tejido urbano continuo                                 | 3.1.1. Bosque natural denso                      |
| 1.1.2. Tejido urbano discontinuo                              | 3.1.2. Bosque natural fragmentado                |
| 1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación | 3.1.3. Bosque de galería y/o ripario             |
| 1.2.1. Zonas industriales o comerciales                       | 3.1.4 Bosque de mangle                           |
| 1.2.2. Red vial, ferroviarias y terrenos asociados            | 3.1.5 Bosque Plantado                            |
| 1.2.3. Zonas portuarias                                       | 3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva |
| 1.2.4. Aeropuertos                                            | 3.2.1 Pastos naturales y sabanas                 |
| 1.2.5. Obras hidráulicas                                      | 3.2.2 Arbustos y matorrales                      |
| 1.3. Zonas de extracción minera y escombreras                 | 3.2.3 Vegetación esclerófila y/o espinosa        |
| 1.3.1. Zonas de extracción minera                             | 3.2.4 Vegetación de páramo y subpáramo           |
| 1.3.2. Escombreras y vertederos                               | 3.2.5 Vegetación rupícola                        |
| 1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas              | 3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación   |
| 1.4.1. Zonas verdes urbanas                                   | 3.3.1 Playas, arenales y dunas                   |
| 1.4.2. Instalaciones recreativas                              | 3.3.2 Afloramientos rocosos                      |
| <b>2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS</b>                               | 3.3.3 Tierras desnudas o degradadas              |
| 2.1 Cultivos anuales o transitorios                           | 3.3.4 Zonas quemadas                             |
| 2.1.1 Otros cultivos anuales o transitorios                   | 3.3.5 Zonas glaciares y nivales                  |
| 2.1.2 Algodón                                                 | <b>4. ÁREAS HÚMEDAS</b>                          |
| 2.1.3 Arroz                                                   | 4.1. Áreas húmedas continentales                 |
| 2.1.4 Papa                                                    | 4.1.1 Zonas Pantanosas                           |
| 2.2 Cultivos permanentes                                      | 4.1.2 Turberas                                   |
| 2.2.1 Otros cultivos permanentes                              | 4.1.3 Esteros                                    |
| 2.2.2 Caña de azúcar                                          | 4.1.4 Vegetación acuática sobre cuerpos de agua  |
| 2.2.3 Caña panelera                                           | 4.2. Áreas húmedas costeras                      |
| 2.2.4 Banano y plátano                                        | 4.2.1 Marismas costeras                          |
| 2.2.5 Café                                                    | 4.2.2 Salinas                                    |
| 2.2.6 Cacao                                                   | 4.2.3 Zonas intermareales                        |
| 2.2.7 Palma africana                                          | <b>5. SUPERFICIES DE AGUA</b>                    |
| 2.2.8 Frutales                                                | 5.1. Aguas continentales                         |
| 2.2.9 Cultivos confinados                                     | 5.1.1 Ríos (50 m)                                |
| 2.3 Pastos                                                    | 5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales        |
| 2.3.1 Pastos limpios                                          | 5.1.3 Canales                                    |
| 2.3.2 Pastos arbolados                                        | 5.1.4 Embalses y cuerpos de agua                 |
| 2.3.3 Pastos enmalezados o enrastrados                        | 5.2. Aguas marítimas                             |
| 2.4 Áreas agrícolas heterogéneas                              | 5.2.1 Lagunas costeras                           |
| 2.4.1 Mosaico de cultivos                                     | 5.2.2 Estuarios                                  |
| 2.4.2 Mosaico de pastos y cultivos                            | 5.2.3 Mares y océanos                            |
| 2.4.3 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales        | 5.2.4 Estanques para acuicultura                 |
| 2.4.4 Mosaico de pastos con espacios naturales                |                                                  |



## Anexo C. Estadística descriptiva de los puntos de monitoreo. Por Buitrago &amp; López, 2021.

| Punto | Cobertura | Variable | Media | Error típico | Mediana | Desviación estándar | Varianza de la muestra | Curtosis | Coefficiente de asimetría | Rango | Mínimo | Máximo |
|-------|-----------|----------|-------|--------------|---------|---------------------|------------------------|----------|---------------------------|-------|--------|--------|
| P1    | TUD       | Ta       | 34,2  | 0,172        | 34,0    | 1,151               | 1,324                  | 1,416    | 1,163                     | 5,1   | 32,4   | 37,5   |
|       |           | RH       | 53,8  | 0,629        | 54,8    | 4,221               | 17,816                 | 2,346    | -1,414                    | 19,7  | 40,1   | 59,8   |
| P2    | PL        | Ta       | 34,4  | 0,148        | 34,7    | 0,991               | 0,981                  | 0,554    | -0,269                    | 4,9   | 32,2   | 37,1   |
|       |           | RH       | 52,9  | 0,645        | 53,1    | 4,328               | 18,733                 | -0,195   | -0,201                    | 18,5  | 42,9   | 61,4   |
| P3    | TUD       | Ta       | 34,8  | 0,172        | 34,8    | 1,155               | 1,333                  | -0,736   | 0,130                     | 4,7   | 32,5   | 37,2   |
|       |           | RH       | 53,4  | 0,759        | 53,3    | 5,088               | 25,891                 | -0,054   | -0,111                    | 20,2  | 43,0   | 63,2   |
| P4    | TUD       | Ta       | 33,0  | 0,242        | 33,1    | 1,624               | 2,638                  | -1,297   | -0,134                    | 5,4   | 30,3   | 35,7   |
|       |           | RH       | 54,7  | 0,927        | 54,7    | 6,220               | 38,684                 | -0,875   | -0,138                    | 23,3  | 42,2   | 65,5   |
| P5    | TUD       | Ta       | 33,8  | 0,288        | 33,6    | 1,933               | 3,737                  | -0,123   | 0,665                     | 7,6   | 30,8   | 38,4   |
|       |           | RH       | 52,6  | 1,091        | 54,7    | 7,316               | 53,524                 | -0,422   | -0,542                    | 27,7  | 37,0   | 64,7   |
| P6    | BF        | Ta       | 32,5  | 0,156        | 32,7    | 1,043               | 1,089                  | -0,723   | 0,287                     | 3,9   | 31,1   | 35,0   |
|       |           | RH       | 57,6  | 0,838        | 57,7    | 5,622               | 31,611                 | 0,018    | -0,478                    | 23,6  | 43,2   | 66,8   |
| P7    | BF        | Ta       | 33,0  | 0,126        | 33,3    | 0,847               | 0,717                  | 0,066    | -0,674                    | 3,9   | 30,7   | 34,6   |
|       |           | RH       | 57,8  | 0,745        | 58,1    | 4,995               | 24,950                 | 1,978    | -0,644                    | 27,7  | 40,6   | 68,3   |
| P8    | BF        | Ta       | 32,6  | 0,133        | 32,8    | 0,892               | 0,796                  | -0,524   | -0,114                    | 3,5   | 30,7   | 34,2   |
|       |           | RH       | 58,7  | 0,676        | 58,7    | 4,533               | 20,544                 | 0,249    | -0,327                    | 21,7  | 45,8   | 67,5   |
| P9    | TUD       | Ta       | 34,6  | 0,191        | 34,5    | 1,279               | 1,637                  | 0,674    | 0,456                     | 6,0   | 32,0   | 38,0   |
|       |           | RH       | 55,6  | 0,918        | 55,0    | 6,158               | 37,925                 | 0,246    | 0,510                     | 26,8  | 43,1   | 69,9   |
| P10   | TUD       | Ta       | 33,7  | 0,162        | 33,7    | 1,088               | 1,185                  | -0,802   | 0,272                     | 3,9   | 32,0   | 35,9   |
|       |           | RH       | 55,4  | 0,933        | 54,8    | 6,262               | 39,208                 | -0,850   | -0,230                    | 22,8  | 43,6   | 66,4   |
| P11   | TUD       | Ta       | 32,7  | 0,174        | 32,7    | 1,166               | 1,360                  | -0,205   | 0,467                     | 4,9   | 31,0   | 35,9   |
|       |           | RH       | 60,1  | 0,982        | 60,4    | 6,589               | 43,418                 | -0,353   | -0,521                    | 26,2  | 43,6   | 69,8   |
| P12   | PL        | Ta       | 33,6  | 0,131        | 33,6    | 0,881               | 0,777                  | -1,023   | -0,060                    | 3,3   | 32,0   | 35,3   |
|       |           | RH       | 59,2  | 0,908        | 58,1    | 6,092               | 37,113                 | 0,827    | 0,593                     | 30,4  | 46,7   | 77,1   |
| P13   | PL        | Ta       | 33,2  | 0,150        | 33,1    | 1,008               | 1,016                  | 0,297    | -0,122                    | 4,6   | 31,2   | 35,8   |
|       |           | RH       | 59,7  | 0,956        | 59,1    | 6,414               | 41,139                 | -0,264   | -0,196                    | 26,3  | 45,6   | 71,9   |
| P14   | PL        | Ta       | 33,7  | 0,132        | 33,7    | 0,888               | 0,789                  | -0,931   | -0,111                    | 3,2   | 31,9   | 35,1   |
|       |           | RH       | 57,6  | 0,610        | 56,9    | 4,095               | 16,769                 | 0,445    | 0,199                     | 20,6  | 47,4   | 68,0   |
| P15   | PL        | Ta       | 32,9  | 0,105        | 32,9    | 0,706               | 0,499                  | 1,234    | 0,386                     | 3,6   | 31,5   | 35,1   |
|       |           | RH       | 59,9  | 0,626        | 59,6    | 4,197               | 17,613                 | 1,407    | 0,411                     | 21,8  | 50,2   | 72,0   |
| P16   | BF        | Ta       | 31,8  | 0,103        | 31,8    | 0,689               | 0,474                  | 3,740    | 1,594                     | 3,3   | 30,9   | 34,2   |
|       |           | RH       | 63,8  | 0,762        | 63,9    | 5,113               | 26,147                 | -0,364   | -0,074                    | 20,4  | 53,9   | 74,3   |

## Anexo C. Continuación

| Punto | Cobertura | Variable | Media | Error típico | Mediana | Desviación estándar | Varianza de la muestra | Curtosis | Coefficiente de asimetría | Rango | Mínimo | Máximo |
|-------|-----------|----------|-------|--------------|---------|---------------------|------------------------|----------|---------------------------|-------|--------|--------|
| P17   | BF        | Ta       | 31,0  | 0,084        | 30,9    | 0,564               | 0,318                  | 0,746    | 0,884                     | 2,6   | 30,2   | 32,8   |
|       |           | RH       | 67,1  | 0,746        | 67,5    | 5,008               | 25,075                 | -0,570   | -0,252                    | 18,6  | 55,9   | 74,5   |
| P18   | BF        | Ta       | 30,4  | 0,072        | 30,5    | 0,482               | 0,233                  | -0,760   | 0,026                     | 1,8   | 29,6   | 31,4   |
|       |           | RH       | 67,0  | 0,714        | 67,8    | 4,791               | 22,955                 | 0,697    | -0,797                    | 21,6  | 52,7   | 74,3   |
| P19   | BF        | Ta       | 30,1  | 0,080        | 30,1    | 0,538               | 0,289                  | 0,775    | 0,426                     | 2,7   | 29,1   | 31,8   |
|       |           | RH       | 70,6  | 0,845        | 70,0    | 5,669               | 32,134                 | -0,851   | -0,108                    | 20,8  | 60,6   | 81,4   |
| P20   | BF        | Ta       | 30,2  | 0,226        | 30,0    | 1,518               | 2,304                  | 35,977   | 5,715                     | 10,5  | 29,2   | 39,7   |
|       |           | RH       | 68,4  | 0,896        | 67,8    | 6,013               | 36,160                 | -0,138   | 0,029                     | 25,9  | 55,5   | 81,4   |
| P21   | BF        | Ta       | 30,0  | 0,063        | 30,1    | 0,422               | 0,178                  | 3,607    | 0,185                     | 2,7   | 28,7   | 31,4   |
|       |           | RH       | 69,6  | 0,639        | 69,9    | 4,285               | 18,363                 | 0,988    | -0,812                    | 18,6  | 58,2   | 76,8   |
| P22   | BF        | Ta       | 31,9  | 0,193        | 31,8    | 1,296               | 1,680                  | -0,037   | 0,698                     | 5,2   | 30,0   | 35,2   |
|       |           | RH       | 63,3  | 1,211        | 64,4    | 8,121               | 65,946                 | -0,647   | -0,387                    | 31,6  | 44,9   | 76,5   |
| P23   | BF        | Ta       | 30,9  | 0,136        | 30,7    | 0,910               | 0,827                  | 1,481    | 1,276                     | 4,0   | 29,6   | 33,6   |
|       |           | RH       | 65,4  | 0,929        | 65,5    | 6,235               | 38,877                 | -0,204   | -0,063                    | 26,9  | 51,2   | 78,1   |
| P24   | BF        | Ta       | 31,6  | 0,126        | 31,7    | 0,847               | 0,718                  | -0,194   | 0,434                     | 3,7   | 30,0   | 33,7   |
|       |           | RH       | 62,4  | 1,031        | 62,4    | 6,914               | 47,803                 | -1,061   | -0,130                    | 23,2  | 50,5   | 73,7   |
| P25   | PL        | Ta       | 33,6  | 0,126        | 33,8    | 0,843               | 0,711                  | -0,180   | -0,587                    | 3,6   | 31,5   | 35,1   |
|       |           | RH       | 56,2  | 0,680        | 56,6    | 4,560               | 20,796                 | 0,752    | -0,783                    | 20,6  | 43,6   | 64,2   |
| P26   | PL        | Ta       | 33,7  | 0,169        | 33,8    | 1,132               | 1,282                  | -0,752   | -0,490                    | 4,1   | 31,4   | 35,5   |
|       |           | RH       | 58,4  | 0,607        | 58,3    | 4,070               | 16,565                 | -0,393   | 0,013                     | 17,0  | 49,8   | 66,8   |
| P27   | PL        | Ta       | 33,3  | 0,172        | 33,3    | 1,157               | 1,339                  | -0,176   | 0,047                     | 5,0   | 30,5   | 35,5   |
|       |           | RH       | 59,2  | 0,836        | 58,8    | 5,610               | 31,475                 | -0,174   | 0,243                     | 25,3  | 47,9   | 73,2   |
| P28   | TUD       | Ta       | 35,8  | 0,189        | 36,4    | 1,269               | 1,611                  | -1,136   | -0,523                    | 4,3   | 33,3   | 37,6   |
|       |           | RH       | 49,8  | 0,747        | 48,5    | 5,010               | 25,097                 | -0,759   | -0,035                    | 20,5  | 39,5   | 60,0   |
| P29   | TUD       | Ta       | 34,3  | 0,138        | 34,2    | 0,924               | 0,854                  | -0,253   | 0,625                     | 3,4   | 33,1   | 36,5   |
|       |           | RH       | 52,1  | 0,787        | 52,5    | 5,280               | 27,874                 | -0,771   | -0,104                    | 19,1  | 41,9   | 61,0   |

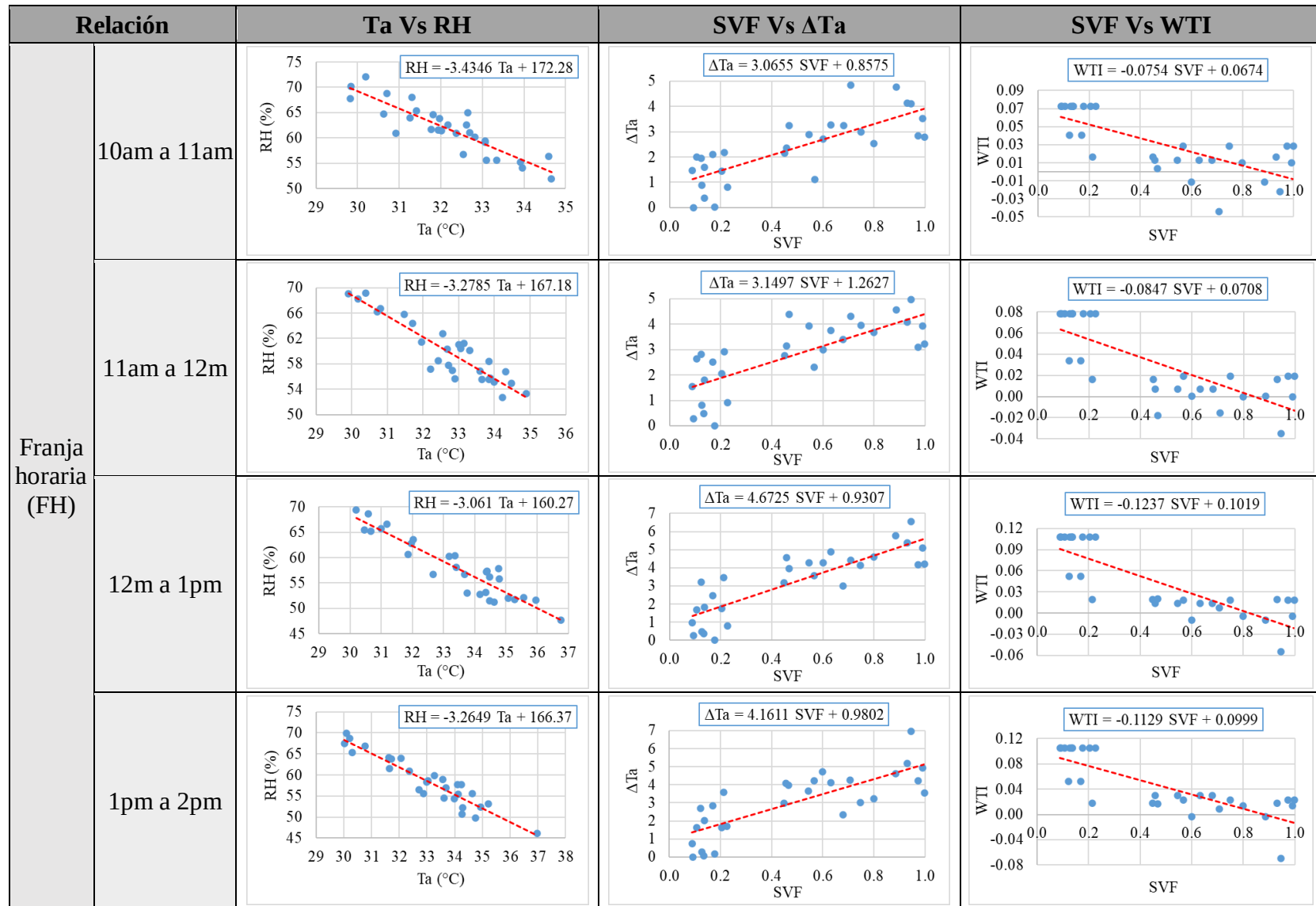
*Anexo D. Cálculo del índice térmico de humedales (WTI). Por Buitrago & López, 2021.*

| Distancia (metros) | Punto de monitoreo                         | Ta Promedio (°C) | WTI     |
|--------------------|--------------------------------------------|------------------|---------|
| 0                  | 16 - 17 - 18 - 19 - 20 - 21 - 22 - 23 - 24 | 30.9             | 0.0943  |
| 0 - 10             | 1 - 14 - 15 - 27                           | 33.6             | 0.0174  |
| 10 - 20            | 2 - 26                                     | 34.1             | 0.0012  |
| 20 - 30            | 4 - 12 - 13 - 25                           | 33.4             | 0.0218  |
| 30 - 40            | 5 - 9                                      | 34.3             | -0.0031 |
| 40 - 50            | ----                                       | 34.3             | -0.0039 |
| 50 - 60            | 29                                         | 34.3             | -0.0046 |
| 60 - 70            | 10                                         | 33.8             | 0.0114  |
| 70 - 80            | 3 - 7 - 11                                 | 33.6             | 0.0169  |
| 80 - 90            | 6 - 8                                      | 32.6             | 0.0455  |
| 90 - 100           | ----                                       | 34.2             | -0.0018 |
| 100 - 110          | ----                                       | 35.0             | -0.0254 |
| 110 - 120          | 28                                         | 35.8             | -0.0490 |
| 120 - 130          | ----                                       | 35.8             | -0.0490 |
| 130 - 140          | ----                                       | 35.8             | -0.0490 |
| 140 - 150          | ----                                       | 35.8             | -0.0490 |

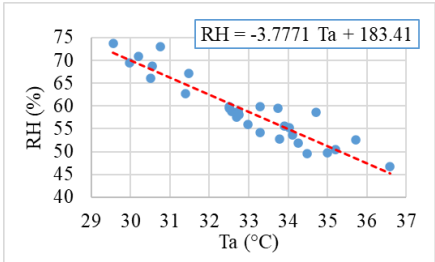
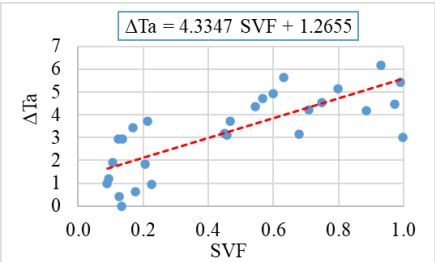
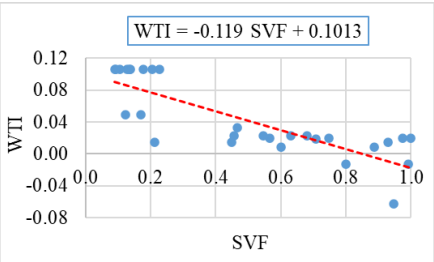
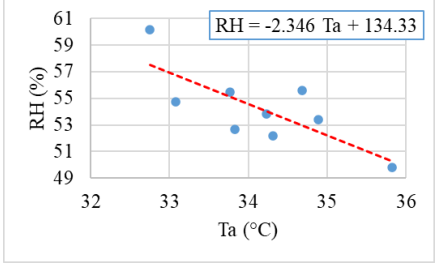
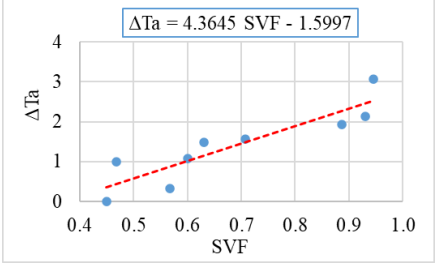
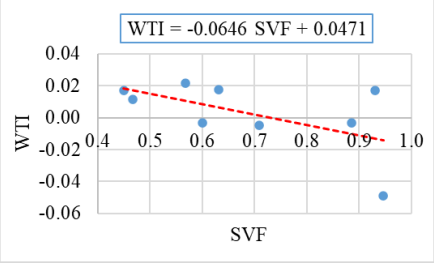
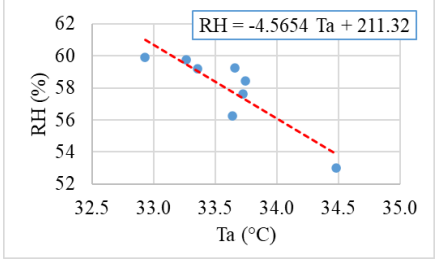
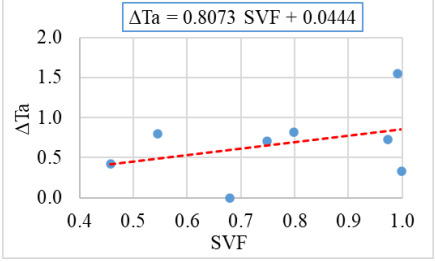
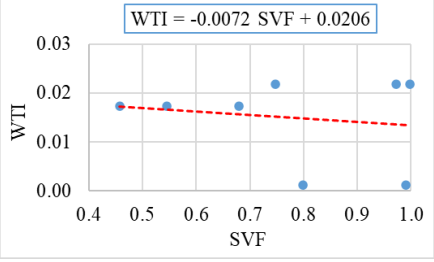
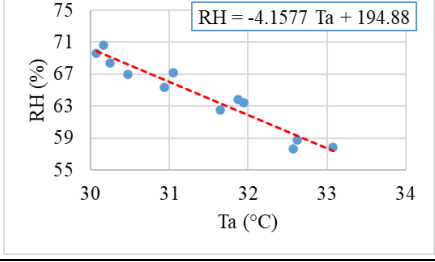
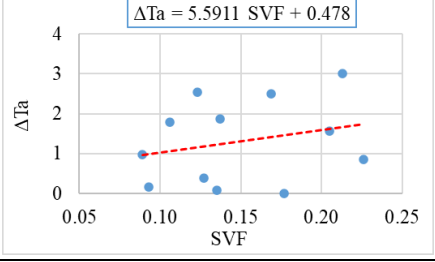
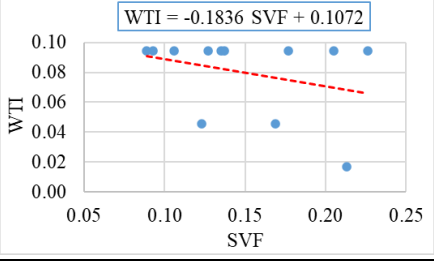
*Anexo E. Regresión lineal y ecuaciones de la recta de Ta Vs RH, SVF Vs  $\Delta$ Ta y SVF Vs WTI de las FH, coberturas y zona de estudio. Por Buitrago & López, 2021.*

| Relación           |                            |             | Coeficiente |         | Error  |        | R <sup>2</sup> | Ecuación de la recta              |
|--------------------|----------------------------|-------------|-------------|---------|--------|--------|----------------|-----------------------------------|
|                    |                            |             | a           | b       | a      | b      |                |                                   |
| Ta Vs RH           | Franja horaria (FH)        | 10am a 11am | 172,28      | -3,4346 | 10,98  | 0,341  | 0,773          | RH = -3,4346 Ta + 172,28          |
|                    |                            | 11am a 12m  | 167,18      | -3,2785 | 8,79   | 0,268  | 0,810          | RH = -3,2785 Ta + 167,18          |
|                    |                            | 12m a 1pm   | 160,27      | -3,0610 | 7,47   | 0,223  | 0,835          | RH = -3,061 Ta + 160,27           |
|                    |                            | 1pm a 2pm   | 166,37      | -3,2649 | 7,82   | 0,236  | 0,862          | RH = -3,2649 Ta + 166,37          |
|                    |                            | 2pm a 3pm   | 183,41      | -3,7771 | 9,32   | 0,283  | 0,855          | RH = -3,7771 Ta + 183,41          |
|                    | Cobertura                  | TUD         | 134,33      | -2,3460 | 25,60  | 0,749  | 0,476          | RH = -2,346 Ta + 134,33           |
|                    |                            | PL          | 211,32      | -4,5654 | 32,76  | 0,975  | 0,699          | RH = -4,5654 Ta + 211,32          |
|                    |                            | BF          | 194,88      | -4,1577 | 10,81  | 0,344  | 0,900          | RH = -4,1577 Ta + 194,88          |
|                    | Promedio - Zona de estudio |             | 174,16      | -3,4917 | 7,01   | 0,213  | 0,867          | RH = -3,4917 Ta + 174,16          |
| SVF Vs $\Delta$ Ta | Franja horaria (FH)        | 10am a 11am | 0,8575      | 3,0655  | 0,281  | 0,481  | 0,610          | $\Delta$ Ta = 3,0655 SVF + 0,8575 |
|                    |                            | 11am a 12m  | 1,2627      | 3,1497  | 0,303  | 0,518  | 0,586          | $\Delta$ Ta = 3,1497 SVF + 1,2627 |
|                    |                            | 12m a 1pm   | 0,9307      | 4,6725  | 0,334  | 0,571  | 0,691          | $\Delta$ Ta = 4,6725 SVF + 0,9307 |
|                    |                            | 1pm a 2pm   | 0,9802      | 4,1611  | 0,378  | 0,645  | 0,629          | $\Delta$ Ta = 4,1611 SVF + 0,9802 |
|                    |                            | 2pm a 3pm   | 1,2655      | 4,3347  | 0,387  | 0,662  | 0,600          | $\Delta$ Ta = 4,3347 SVF + 1,2655 |
|                    | Cobertura                  | TUD         | -1,5997     | 4,3645  | 0,580  | 0,816  | 0,883          | $\Delta$ Ta = 4,3645 SVF -1,5997  |
|                    |                            | PL          | 0,0444      | 0,8073  | 0,664  | 0,832  | 0,085          | $\Delta$ Ta = 0,8073 SVF + 0,0444 |
|                    |                            | BF          | 0,4780      | 5,5911  | 1,067  | 6,812  | 0,037          | $\Delta$ Ta = 5,5911 SVF + 0,478  |
|                    | Promedio - Zona de estudio |             | 0,8882      | 3,8767  | 0,296  | 0,506  | 0,676          | $\Delta$ Ta = 3,8767 SVF + 0,8882 |
| SVF Vs WTI         | Franja horaria (FH)        | 10am a 11am | 0,0674      | -0,0754 | 0,0078 | 0,0133 | 0,5285         | WTI = -0,0754 SVF + 0,0674        |
|                    |                            | 11am a 12m  | 0,0708      | -0,0847 | 0,0079 | 0,0134 | 0,5563         | WTI = -0,0847 SVF + 0,0708        |
|                    |                            | 12m a 1pm   | 0,1019      | -0,1237 | 0,0094 | 0,0161 | 0,6659         | WTI = -0,1237 SVF + 0,1019        |
|                    |                            | 1pm a 2pm   | 0,0999      | -0,1129 | 0,0096 | 0,0164 | 0,6232         | WTI = -0,1129 SVF + 0,0999        |
|                    |                            | 2pm a 3pm   | 0,1013      | -0,1190 | 0,0092 | 0,0157 | 0,6667         | WTI = -0,119 SVF + 0,1013         |
|                    | Cobertura                  | TUD         | 0,0471      | -0,0646 | 0,0252 | 0,0355 | 0,2868         | WTI = -0,0646 SVF + 0,0471        |
|                    |                            | PL          | 0,0206      | -0,0072 | 0,0135 | 0,0170 | 0,0001         | WTI = -0,0072 SVF + 0,0206        |
|                    |                            | BF          | 0,1072      | -0,1836 | 0,0272 | 0,1737 | 0,0774         | WTI = -0,1836 SVF + 0,1072        |
|                    | Promedio - Zona de estudio |             | 0,0885      | -0,1035 | 0,0084 | 0,0144 | 0,5899         | WTI = -0,1035 SVF + 0,0885        |

Anexo F. Gráficas de dispersión y línea de tendencia de la correlación de Ta Vs RH, SVF Vs  $\Delta Ta$  y SVF Vs WTI. Por Buitrago & López, 2021.



## Anexo F. Continuación

| Relación  |                     | Ta Vs RH                                                                                                                         | SVF Vs $\Delta Ta$                                                                                                                      | SVF Vs WTI                                                                                                                           |
|-----------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cobertura | Franja horaria (FH) |  <p><math>RH = -3.7771 Ta + 183.41</math></p>   |  <p><math>\Delta Ta = 4.3347 SVF + 1.2655</math></p>  |  <p><math>WTI = -0.119 SVF + 0.1013</math></p>    |
|           | TUD                 |  <p><math>RH = -2.346 Ta + 134.33</math></p>    |  <p><math>\Delta Ta = 4.3645 SVF - 1.5997</math></p>  |  <p><math>WTI = -0.0646 SVF + 0.0471</math></p>   |
|           | PL                  |  <p><math>RH = -4.5654 Ta + 211.32</math></p>  |  <p><math>\Delta Ta = 0.8073 SVF + 0.0444</math></p> |  <p><math>WTI = -0.0072 SVF + 0.0206</math></p>  |
|           | BF                  |  <p><math>RH = -4.1577 Ta + 194.88</math></p> |  <p><math>\Delta Ta = 5.5911 SVF + 0.478</math></p> |  <p><math>WTI = -0.1836 SVF + 0.1072</math></p> |