DETERMINAR EL IMPACTO DE SOMBRAS POR CONSTRUCCIONES EN ALTURA DE LAS UPZ LAS NIEVES Y SAGRADO CORAZÓN EN BOGOTÁ MEDIANTE CONDICIONES DE SOLEAMIENTO

Autores

RAFAEL HUMBERTO CUADROS ROMERO

EDUARDO JULIAN MORENO SANABRIA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN

BOGOTÁ

2019

DETERMINAR EL IMPACTO DE SOMBRAS POR CONSTRUCCIONES EN ALTURA DE LAS UPZ LAS NIEVES Y SAGRADO CORAZÓN EN BOGOTÁ MEDIANTE CONDICIONES DE SOLEAMIENTO

Autores
RAFAEL HUMBERTO CUADROS ROMERO
EDUARDO JULIAN MORENO SANABRIA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
ESPECIALISTA EN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
Director de tesis
M.Sc OSWALDO IBARRA ORTÍZ

Asesor de tesis
M.Sc ALEXANDER PÁEZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
BOGOTÁ
2019

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

(Especialización en Sistemas de Información Geográfica en convenio con el IGAC)

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA: ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN CONVENIO CON EL IGAC- 2019
ACTA DE SUSTENTACIÓN Nº 007

Fecha : 6 Noviembre de 2019

Lugar : CIAF

TRABAJO DE GRADO: DETERMINAR EL IMPACTO DE SOMBRAS POR CONSTRUCCIONES EN ALTURA DE LAS UPZ LAS NIEVES Y SAGRADO CORAZÓN DE BOGOTÁ MEDIANTE CONDICIONES DE SOLEAMIENTO

PRESENTADO POR :

INTEGRANTES	CÓDIGO UD
EDUARDO JULIAN MORENO SANABRIA	20191094041
RAFAEL HUMBERTO CUADROS ROMERO	20191094031

NOTA : 4.8

CARÁCTER : Meritorio

Docente Evaluador

Director

Docente Evaluador

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 3
2. JUSTIFICACIÓN 5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 6
3.1. Problema de investigación 6
3.2. Formulación del problema 6
3.3. Hipótesis. 6
4. OBJETIVOS 8
4.1. Objetivo General 8
4.2. Objetivos Específicos 8
5. MARCO DE REFERENCIA 9
5.1. Marco conceptual 9
5.2. Estado del arte 10
5.3. Marco Teórico 12
6. METODOLOGIA 21
6.1. Selección zona de trabajo 22
6.2. Herramientas Hillshade y Sun Shadow Volume 24
6.2. Reclasificación y determinación de horas de sombra en zonas de interés. 27
6.3. Calculo de horas de sombras y áreas afectadas 28
7. RESULTADOS 30
7.1. Resultados Sun Shadow Volume 30
7.2. Resultados Hillshade 31
7.3. Resultados reclasificación 35
7.4. Resultados zonas críticas 41

7.5. Resultados Trabajo de campo 48
8. CONCLUSIONES 51
9. RECOMENDACIONES 53
10. BIBLIOGRAFÍA 55

IMÁGENES

Imagen 1. zonas urbanas homogéneas para la UPZ las nieves

Imagen 2. zonas tratamientos urbanísticos para la UPZ las nieves

Imagen 3. zonas tratamientos urbanísticos para la UPZ Sagrado Corazón

Imagen 4. zonas tratamientos urbanísticos para la UPZ Sagrado Corazón

Imagen 5. Irradiación Global Horizontal Promedio por Hora para la ciudad de Bogotá, medida con datos de la estación meteorológica de la universidad nacional.

Imagen 6. Comportamiento de la Irradiación Global Horizontal Promedio por Hora para la ciudad de Bogotá.

Imagen 7 esquema general de la metodología para el desarrollo del proyecto de grado.

Imagen 8 esquema general del Modelo para la selección de la zona de estudio.

Imagen 9. Esquema general del modelo para la creación del DEM para la zona de estudio.

Imagen 10. Esquema general del modelo para la creación de los feature 3D para la zona de estudio.

Imagen 11. Esquema general del modelo para convertir el feature 3D en raster para poder utilizarlo en la herramienta hillshade.

Imagen 12. Visualización de feature 3d para la zona de estudio

Imagen 13. Esquema general del modelo para el cálculo de proyección de sombras utilizando la herramienta hillshade.

Fecha, azimut y elevación para la zona de estudio

Fuente:(SunEarthTools.com, 2019)

Imagen 14. Visualización volúmenes de sombras creados por la herramienta sun shadow volume

Imagen 15. Esquema general del modelo para la reclasificación de la proyección de sombras y el cálculo de acumulación de horas de sombra en la zona de estudio.

Imagen 16. Esquema general del modelo para determinar áreas afectadas y duración de sombras sobre los sitios de interés.

Imagen 17 limites diarios de la proyección de sombras

Imagen 18. Resultado herramienta Hillshade para las 8:00 am del 12 octubre

Imagen 19. Resultado herramienta Hillshade para las 9:00 am del 12 octubre

Imagen 20. Resultado herramienta Hillshade para las 10:00 am del 12 octubre

Imagen 21. Resultado herramienta Hillshade para las 11:00 am del 12 octubre

Imagen 22. Resultado herramienta Hillshade para las 12:00 pm del 12 octubre

Imagen 23. Resultado herramienta Hillshade para las 13:00 pm del 12 octubre

Imagen 24. Resultado herramienta Hillshade para las 14:00 pm del 12 octubre

Imagen 25. Resultado herramienta Hillshade para las 15:00 pm del 12 octubre

Imagen 26. Resultado herramienta Hillshade para las 16:00 pm del 12 octubre

Imagen 27. Resultado herramienta Hillshade para las 17:00 pm del 12 octubre

Imagen 28. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 8:00 am

Imagen 29. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 9:00 am

Imagen 30. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 10:00 am

Imagen 31. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 11:00 am

Imagen 32. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 12:00 pm

Imagen 33. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 13:00 pm

Imagen 34. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 14:00 pm

Imagen 35. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 15:00 pm

Imagen 36. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 16:00 pm

Imagen 37. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 17:00 pm

Imagen 38. Resultado de la operación entre las reclasificación de raster para la mañana y tarde

Imagen 39. Cartodiagrama de resultados en porcentaje de sombra mañana y tarde Parque de La Independencia

Imagen 40. Cartodiagrama de resultados en porcentaje de sombra mañana y tarde Parque Central Bavaria

Imagen 41. Cartodiagrama de resultados en porcentaje de sombra mañana y tarde Colegio de María Auxiliadora

Imagen 42. Cartodiagrama de resultados en porcentaje de sombra mañana y tarde Jardín Infantil Universidad Central

Imagen 43. Cartodiagrama de resultados en porcentaje de sombra mañana y tarde Colegio Policarpa Salavarrieta (IED) Sede República de Argentina

Imagen 44. Cartodiagrama de resultados en porcentaje de sombra mañana y tarde Clinisanitas Centro Medico Empresarial

Imagen 45 comportamiento de los porcentajes de sombras durante el día 12 de octubre de 2019

Imagen 46 fotografía en campo de la proyección de sombras entre edificios en el centro de Bogotá

Imagen 47 volúmenes de sombras calculados con la herramienta Sun Shadow Volume

Imagen 48 fotografía en campo de la proyección de sombra de la torre Colpatria

Imagen 49 volúmenes de sombras calculados con la herramienta sun shadow volume para la torre Colpatria

Imagen 50 fotografía en campo de la proyección de sombra de Hotel Ibis

Imagen 51 volúmenes de sombras calculados con la herramienta sun shadow volume para el Hotel Ibis

1. INTRODUCCIÓN

La organización urbana es un tema que toma cada vez más importancia en el mundo, pues se observa que los problemas de las grandes ciudades se generaron desde el momento que empezó la expansión urbana. Esto fue ocasionado al no tener en cuenta factores considerados de poca importancia, que sumados a la tecnología del momento no facilitaban los procesos. Sin embargo, esos mismos factores, en la actualidad, disminuyen la calidad de vida de sus pobladores.

En la actualidad uno de esos factores es el requerimiento solar en los edificios o en espacios públicos de la ciudad. McCnn, C. (2008) define el acceso solar como la continua disponibilidad de luz solar directa que posee una edificación y sin obstrucción de otra propiedad. La luz solar tiene una gran influencia sobre el comportamiento y la salud de los seres humanos. Muchas de las funciones endocrinas del cuerpo humano están guiadas por el ritmo circadiano, es decir, el ciclo día (luz)-noche (oscuridad) de allí la importancia de garantizar el acceso a la energía solar (Franco, 2014). Según (García & García, 2012) es necesario un mínimo de 4 horas de soleamiento en la franja central del día, de 10:00 am a 2:00 pm, sobre la edificación en los meses infra calentados, esta franja central del día es equivalente a las horas de máxima radiación del día.

En la actualidad, en los países suramericanos la normatividad que garantiza este acceso solar a las edificaciones o zonas públicas es casi inexistente; solo en Chile se cuenta con una normatividad referente al tema (Fonzo, 2016). Tomándola como referente, actualmente existen dos grandes enfoques para las reglamentaciones de acceso solar: el método de actuación (horas mínimas de asolación) y el método descriptivo (proyección de sombras que buscan establecer las alturas máximas para las edificaciones) (Franco, 2014).

Para este trabajo se tendrá en cuenta el método descriptivo de proyección de sombras basado en los estudios realizados por (Jensen, 2017) y (García & García, 2012). La proyección de sombras es un método que está siendo muy utilizado en ciudades desarrolladas para la búsqueda de zonas óptimas en los techos o fachadas de los edificios, con el fin de aprovechar el potencial solar, mediante paneles solares y jardines verticales o techos verdes. Todo esto en función del ahorro energético y confort térmico de las edificaciones.

Otro de los factores a tener en cuenta es el ordenamiento territorial, este se puede analizar desde el punto de vista de proyección de sombras, ya que las zonas con un promedio de horas de sombra prolongadas proporcionan menos calidad de vida a la población, en comparación con zonas donde el acceso solar no se ve afectado. (Salas, Quezada, Crespo, & Vélez, 2019) y (Inzulza Contardo, Wolff Cecchi, & Vargas Lara, 2017), señalan que el acceso solar e iluminación natural son elementos fundamentales en planes y reglamentos urbanos, ya que son vitales para la salud, el confort, y la recreación.

Este trabajo busca evidenciar la afectación por la generación de sombras sobre zonas o edificaciones consideradas de interés en términos de cuantificación de horas de sol o de cuantificación de área donde se proyectan las sombras, esto utilizando el software ArcGis que es poco utilizado en estos estudios (Jensen, 2017) y donde a partir de información en formato raster para la cuantificación por pixel de las sombras a través de las herramientas hillshade y sun shadow volume.

2. JUSTIFICACIÓN

En Colombia el acceso solar a las edificaciones y zonas públicas no es tomado en cuenta para el ordenamiento territorial de las grandes ciudades, donde se encuentran los edificios de gran altura que, por la generación de sombras, limitan el acceso solar. Adicionalmente no encontramos una normatividad para salvaguardar este derecho de la población y que propicie la elaboración de estudios y/o metodologías para garantizar que futuras construcciones no afecten los bienes públicos y/o privados.

A nivel mundial, en los últimos años se han desarrollado estudios referentes a este tema con enfoque al ordenamiento territorial y a zonas para el aprovechamiento de la energía solar (paneles solares). Esto demuestra la importancia de desarrollar nuevas metodologías que se adapten a las características de cada país con el fin de generar nueva información que apoye futuros estudios.

Para la obtención de resultados se utilizara una herramienta de generación de mapas de sombras del software ArcGIS, la generación de mapas de sombra ha estado disponible durante mucho tiempo para los artistas gráficos e ilustradores, pero poco utilizado por los usuarios de un sistema de información geográfica (SIG) (Jensen, 2017). Esta metodología garantiza la posibilidad de que se utilice esta herramienta en otras áreas de investigación que se enfoque en la planeación y ordenamiento territorial, generando así más maneras de analizar la proyección de sombras.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Problema de investigación

El crecimiento de la población a nivel urbano en la ciudad de Bogotá ha impulsado la construcción de obras civiles de gran altura. Con el tiempo, estas estructuras impactaran de alguna manera la calidad ambiental y salud de la población, por causa de las sombras generadas por este tipo de construcciones. Dado lo anterior, este estudio busca determinar el impacto por la obstrucción de la luz solar en el entorno construido mediante el estudio de sombras.

3.2. Formulación del problema

El motivo de esta investigación es lograr con herramientas de análisis en sistemas de información geográfica, determinar las características de soleamiento, estableciendo el impacto de sombras por construcciones de gran altura en entornos urbanos, este proyecto surge de la carencia de investigaciones realizadas sobre este tema en el país, que busca generar alternativas que sirva como partida para profundizar en el tema del impacto generado por proyecciones de sombras, con el fin de sentar bases de investigación y ser tenido en cuenta en temas de normatividad en el desarrollo urbano.

3.3. Hipótesis.

Partiendo de la información base del IDECA para las UPZ de las nieves y sagrado corazón, es posible generar un modelamiento de la proyección de sombras con respecto a una clasificación de sitios de interés donde se podrá calcular las áreas de sombra proyectadas a diferentes horas del día para determinar el impacto sobre los sitios de interés, esta metodología funcionará como punto de partida para posteriores estudios que apalanquen futuros planes de ordenamiento territorial, esta

información adicionalmente tendrá en cuenta épocas del año y genera resultados en formato raster y vector.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Determinar las afectaciones en el acceso a luz solar sobre diferentes tipos de espacios urbanos de las UPZ las nieves y sagrado corazón, causados por la construcción en altura, mediante la utilización de herramientas de análisis.

4.2. Objetivos Específicos

Generar el modelamiento de la proyección de sombras para el entorno urbano de la zona de estudio, mediante herramientas de análisis espacial.

Determinar la afectación por la proyección de las sombras sobre edificaciones y zonas consideradas de interés para el estudio por medio de la cuantificación de la acumulación de horas de sombra

Identificar sitios de interés con mayor afectación de acumulación de sombras, con base a los intervalos de horas del día de mayor radiación.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1. Marco conceptual

A continuación, se mencionará los conceptos que se consideran más relevantes para la comprensión y desarrollo del presente trabajo de grado, dentro de los conceptos encontramos:

5.1.1. Mapa de sombras

Modelo digital cuya función es la representación de sombras y niveles de radiación solar sobre el terreno. Mediante los modelos digitales de elevación, y con ayuda de herramientas de explotación de información espacial, se puede simular este tipo de modelos dando sensación de profundidad en la geografía por medio de sombras proyectadas sobre las laderas o edificaciones (Gis&Beers, 2016.).

5.1.2. Azimut

Ángulo o longitud de arco medido sobre el horizonte celeste que forman el punto cardinal sur (Norte) y la proyección vertical del sol sobre el horizonte del observador situado en alguna latitud Norte (Sur) (CONSTRUMATICA, 2019.), En geodesia o topografía geodésica el azimut sirve para determinar la orientación de un sistema de triangulación. (Pons, 2017).

5.1.3. Sombra

Las superficies que no quedan expuestas al Sol en una hora determinada están en sombra. Esta puede ser sombra propia o sombra proyectada. La sombra propia se puede definir como la superficie real que está sin recibir iluminación directa de la fuente radiante de luz. La sombra proyectada es la sombra arrojada por el objeto

sobre una superficie, que sufre la distorsión de la perspectiva (Pastrana & Sanchez, 2015).

5.1.4. Acceso solar

Se define como la continua disponibilidad de luz solar directa que posee una edificación y sin obstrucción de otra propiedad (edificios, vegetación u otro impedimento). Este acceso solar se calcula con el diagrama de trayectoria solar para cada edificación (Franco & Bright, 2016).

5.1.5. Carta solar

La carta solar es un ábaco que permite a un observador en cualquier latitud registrar la posición del Sol en la cúpula celeste (Pastrana & Sanchez, 2015).

5.1.6. Unidad de planeamiento zonal (UPZ)

Unidades de análisis, planeamiento y gestión para comprender el tejido social y urbano, con el propósito de plantear su estructura, orientar sus dinámicas y sus relaciones para mejorar las condiciones de vida de la población.(Secretaria Distrital de Planeacion, 2006)

5.2. Estado del arte

Los estudios anteriores realizados referente a la generación de mapas de sombras en entornos urbanos en su mayoría están enfocados hacia el ordenamiento urbano y a la búsqueda de zonas óptimas para el aprovechamiento de la energía solar. (Franco, 2014) realiza un estudio dividido en dos partes. En la primera realiza un estudio de antecedentes sobre el acceso solar en los espacios urbanos a través de la historia y así entender la importancia de la energía solar, en la segunda parte presenta el estudio comparativo de acceso solar por el método descriptivo entre las ciudades de: Jerusalén, Israel (31, 8º Norte) y Bogotá, Colombia (4, 5º Norte). Este estudio expone la vinculación entre forma urbana, perfiles viales, obstrucciones y

acceso solar para la ciudad en mención. Para ese estudio se utilizó el método descriptivo. En este enfoque, la geometría y la proyección de sombras buscan establecer las alturas máximas de los edificios para que estos no obstruyan el acceso solar a otras edificaciones existentes o no. La conclusión general del estudio fue según lo expuesto el método utilizado es susceptible de aplicarse en cualquier ciudad del planeta para temas de regulación de acceso solar. Esta conclusión sirvió para dar viabilidad a este proyecto.

En el siguiente trabajo enfocaron su estudio en el aprovechamiento de la energía solar en los entornos urbanos, el trabajo se tituló Identifying Potential Area and Financial Prospects of Rooftop Solar Photovoltaics (PV) (Ninsawat & Hossain, 2016), el objetivo de este método es evaluar cómo el tipo de techo y la sombra desempeñan un papel importante en la potencialidad y el beneficio financiero. El método comienza con la extracción del tipo de techo (según su forma en picos o planos, esto también lo tiene en cuenta (Mendoza Castañeda, 2015) en su estudio) a partir de imágenes satelitales de alta resolución, utilizando el Análisis de imagen base de objetos (OBIA), la generación de una estructura 3D a partir de datos de altura y tipo de techo, la simulación de sombra durante todo el año y la identificación de potencial y perspectivas financieras. La principal conclusión encontrada fue que ese método podría ayudar a los propietarios a identificar el área potencial del techo y el interés económico. En este estudio se evidencia otra aplicación de los mapas de sombras en entornos urbanos.

El siguiente autor realizo un estudio titulado *Shadow Accrual Maps: Efficient Accumulation of City-Scale Shadows over Time* (Miranda et al., 2019), con el objetivo de generar un mapa de acumulación de sombras para poder determinar el efecto de las sombras en la ciudad, la metodología consiste en desarrollar un sistema de análisis visual interactivo, Shadow Profiler, dirigido a los planificadores y arquitectos de la ciudad que les permite probar el impacto de las sombras en

diferentes escenarios de desarrollo. Trabaja como zona de estudio Manhattan, un distrito denso de la ciudad de Nueva York. La conclusión general del estudio *es que* los planificadores de la ciudad pueden diseñar regulaciones de zonificación para cumplir sus objetivos de garantizar el acceso solar al tiempo que maximizan la densidad y preservan la calidad del espacio público.

el estudio titulado *Generating Shadows for Urban Design* (Jensen, 2017), el objetivo estratégico es proporcionar información sobre la utilización óptima de la luz en un entorno construido utilizando las funciones 3D como entradas. El proyecto representa un esfuerzo por aportar un nuevo flujo de trabajo para el desarrollo urbano en el campo del geodiseño, se desarrolló en cuatro fases, las tres primeras se concentraron el esfuerzo en establecer flujos de trabajo y luego procesar características. La cuarta fase interpreta los resultados y documentar la totalidad del proyecto. Adicionalmente se apoya en elsoftware ArcGis con las herramientas Sun Shadow Volume. El producto obtenido fue el diseño de un proceso que podría ser utilizado en múltiples campos de estudios y que facilita los procesos involucrados en el análisis de proyecciones de sombras en zonas urbanas, para la toma de decisiones que garanticen el acceso solar a toda la población.

5.3. Marco Teórico

5.3.1. Descripción del acceso solar

Según (Franco & Bright, 2016) con el objetivo de aprovechar la energía del sol, el dueño de una propiedad debe tener acceso a la luz solar y a instalar un sistema recolector de energía que pueda utilizar. En consecuencia, la consideración del acceso solar en los Estados Unidos se apoya en las servidumbres solares (Solar Easement Law), que se ocupan del acceso a la luz solar y los derechos de solares (Solar Rights Act of 1978), que soportan el derecho a instalar un sistema recolector de energía solar.

5.3.2. Determinantes del acceso solar para una edificación y un entorno urbano

El acceso solar a un edificio está determinado por cuatro factores: la latitud, la pendiente del terreno, su forma y la orientación. El acceso solar para una ciudad (o cualquier otro entorno urbano) se encuentra determinado por tres factores adicionales como la altura de las edificaciones, la proporción de las calles y la orientación de las mismas (Franco & Bright, 2016), esto también lo menciona (Cárdenas, Vasquez, & Turnbull, 2014). Actualmente existen dos grandes enfoques para las reglamentaciones de acceso solar: el método de actuación (horas mínimas de asoleación) y el método descriptivo (proyección de sombras que buscan establecer las alturas máximas para las edificaciones). Según (Capeluto, Yezioro, Bleiberg, & Shaviv, 2006) la regulación de acceso solar y los derechos solares se pueden aplicar tres niveles sobre la base de los dos enfoques mencionados anteriormente:

- El nivel básico, Apoyado en el enfoque del rendimiento, el cual define la cantidad requerida de radiación solar para cada orientación, ubicación urbana y zona climática.
- El segundo nivel, basado en el enfoque de rendimiento. Indica las horas de insolación que cumplan los requisitos de captación de radiación solar
- El tercer nivel es el método descriptivo. En este se presenta el empleo de las líneas de sección solares como una herramienta simple para garantizar el acceso solar y los derechos solares.

5.3.3. Líneas de sección

Según (Capeluto et al., 2006) las líneas de sección para el método descriptivo se basa en el concepto de la envolvente solar, que fue creada para que cualquier construcción en su interior tendrá satisfechos su derechos solares a la vez que no

violará los de las construcciones o parcelas del entorno . Cada línea de sección representa el ángulo del sol en el periodo más crítico.

5.3.4. Altura máxima edificable

Para Bogotá el plan de ordenamiento territorial define la altura máxima edificable por la combinación de la clasificación de zonas urbanas homogéneas (ZUH) y tratamiento urbanístico.

Las Zonas Urbanas Homogéneas son el resultado de la interacción de las condiciones naturales del territorio con la morfología del espacio público y construido, se entiende como la identificación de los sectores de la ciudad que presentan características análogas en cuanto a los trazados urbanos (trazado de vías), las tipologías de la edificación (forma de los edificios) y la topografía del territorio. (Secretaria Distrital de Planeacion, 2018).

Las zonas urbanas homogéneas resultantes de la combinación de los trazados urbanos característicos de la ciudad planificada con las tipologías arquitectónicas son las siguientes:

Tabla 1 Zonas Urbanas Homogéneas de la ciudad planificada.

Trazados urbanos	**Tipologías de la edificación**	**ZUH Resultante**
TRS – Trazado regular simple	T2 Loteo sin antejardín	TRS-T2
	T2/T12 Mixto: Bodegas comerciales y loteo sin antejardín	TRS-T2/T12
	T3 Loteo con antejardín	TRS-T3
	T4 Pareada o en serie	TRS-T4
	T6 Multifamiliar tipología continua	TRS-T6
	T7 Multifamiliar tipología aislada.	TRS-T7
	T4 Pareada o en serie	TO-T4

TO – Trazado orgánico	T5 Unifamiliar aislada	TO-T5
	T6 Multifamiliar tipología continua	TO-T6
	T7 Multifamiliar tipología aislada.	TO-T7
TE – Trazado Especial	T1 Fundacional	TE-T1
	T2 Loteo sin antejardín	TRS-T2
	T3 Loteo con antejardín	TRS-T3
	T4 Pareada o en serie	TRS-T4
	T6 Multifamiliar tipología continua	TRS-T6
	T8 Conjunto residencial por manzana	TRS-T8
	T9 Conjunto en supermanzana	TPA-T9
TPA- Trazado por agrupación	T8 Conjunto por manzana	TPA-T8
	T9 Conjunto en supermanzana	TPA-T9
PNR- Polígono no residencial	T10 Complejo Industrial	PNR-T10
	T11 Industria aislada	PNR-T11
	T10/ T12 Complejo administrativo - empresarial	PNR-T12
	T13 Complejo empresarial	PNR-T13
	T14 Comercio gran escala	PNR-T14
	T15 Dotacional por manzana	PNR-T15

Fuente: (Secretaria Distrital de Planeacion, 2018)

El tratamiento urbanístico o renovación urbana es el tratamiento orientado a transformar las estructuras urbanas existentes para densificar la ciudad de manera ordenada en función de la capacidad de los soportes urbanos básicos. El tratamiento de Renovación Urbana tiene dos modalidades, por reactivación o por redesarrollo, la modalidad de reactivación está orientada a promover la redensificación mediante la transformación de predios o englobes de predios(Secretaria Distrital de Planeacion, 2018), entre ellas encontramos:

Renovación Urbana sobre Corredores de la Red de Transporte Público Masivo -RU1 que se refiere a la reactivación en predios de las manzanas del área de influencia a los corredores troncales de la red de transporte público masivo, renovación urbana en sectores de redensificación -RU2 la reactivación en sectores

de redensificación propone incentivar la transformación de sectores que tienen potencial para el cambio en su tipología por medio de integración predial -RU3, este tipo de redesarrollo busca el mejor aprovechamiento y adecuación de los soportes urbanos en áreas consolidadas de la ciudad -RU4, tipo de redesarrollo orientado a impulsar la transformación de áreas industriales respondiendo a las tendencias en la dinámica económica. (Secretaria Distrital de Planeacion, 2018)

Sin embargo, existen otras clasificaciones en la zona de estudio como son zona de conservación urbanística integras CO1 la cual aplica para el caso de los sectores homogéneos. Su aplicación implica la conservación de la norma urbanística original. La otra clasificación encontrada son los bienes de interés cultural, donde se establecen condiciones normativas generales sobre los elementos afectos al uso público como cerramientos y fachadas de los Bienes Inmuebles de Interés Cultural, que buscan mejorar la integración al espacio público. (Secretaria Distrital de Planeacion, 2018)

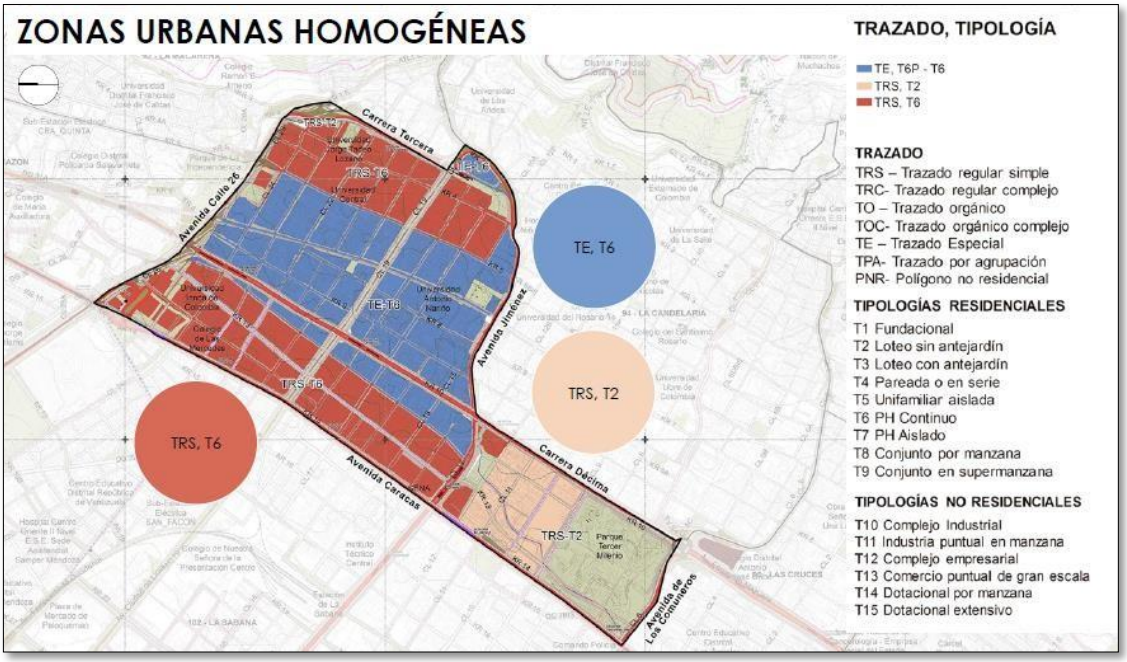


Imagen 1. zonas urbanas homogéneas para la UPZ las nieves
Fuente. (Alcaldía Mayor de Bogotá - Secretaría de Planeación, 2018)

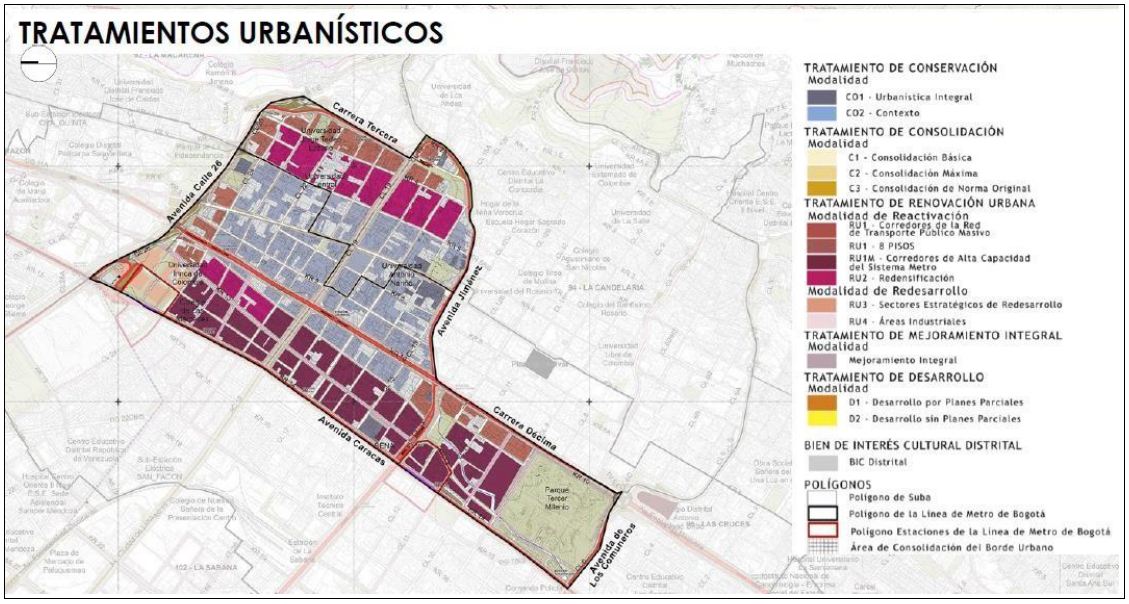


Imagen 2. zonas tratamientos urbanísticos para la UPZ las nieves
Fuente. (Alcaldía Mayor de Bogotá - Secretaría de Planeación, 2018)

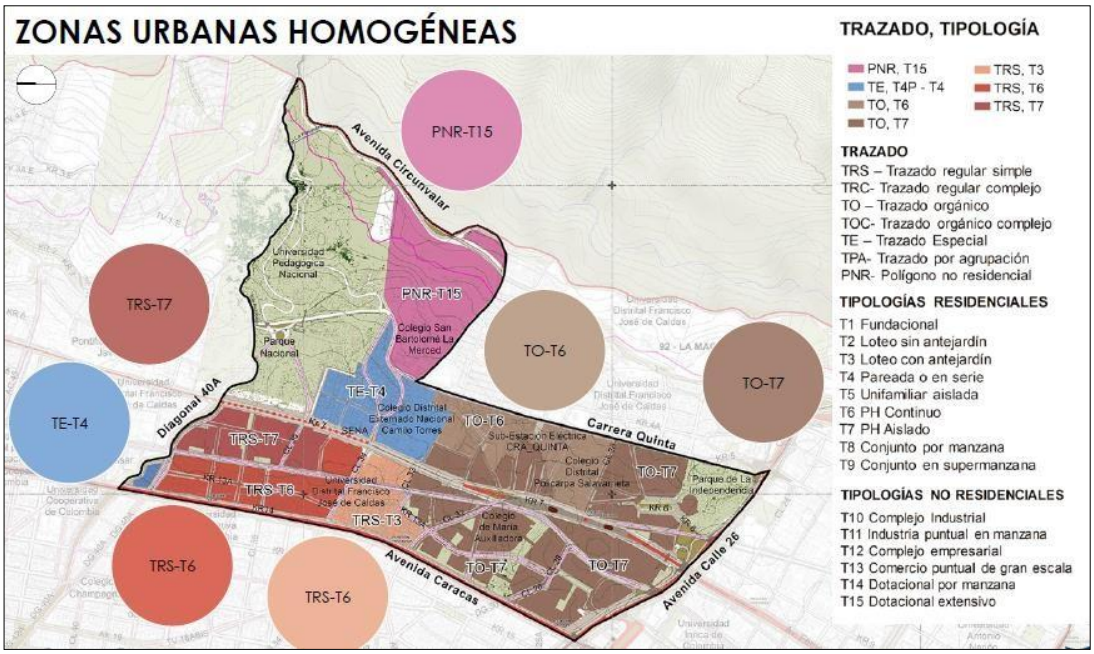


Imagen 3. zonas tratamientos urbanísticos para la UPZ Sagrado Corazón
Fuente. (Alcaldía Mayor de Bogotá - Secretaría de Planeación, 2018)

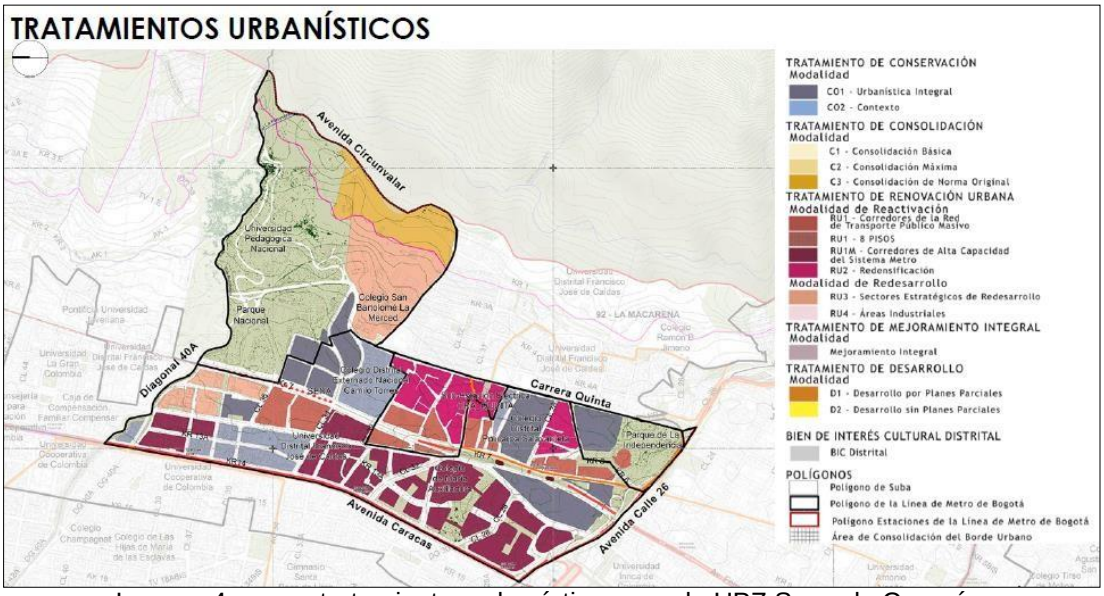


Imagen 4. zonas tratamientos urbanísticos para la UPZ Sagrado Corazón
Fuente. (Alcaldía Mayor de Bogotá - Secretaría de Planeación, 2018)

5.3.5. Radiación

la radiación solar es simplemente la energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (infrarrojas, luz visible, y ultravioletas), existen diferentes tipos de radiaciones (Franco Tutores & Crespo Jaume Roset, 2014):

Radiación directa: Es aquella que nos llega directamente del Sol sin haber sufrido un cambio de dirección en su recorrido. Este tipo de radiación proyecta una sombra definida de cualquier objeto que la intercepte.(Franco, 2014)

Radiación difusa. El sol irradia la atmósfera y todo su contenido, parte de esta radiación es reflejada por el cielo y las nubes. Esta radiación, se llama difusa, se caracteriza porque va en todas las direcciones, como resultado de las múltiples reflexiones y absorciones (Lecea, 2010).

Radiación global: Es la cantidad total de energía solar que recibe un plano, está formada por la suma de la radiación difusa y directa(Lecea, 2010).

5.3.6. Radiación en Bogotá

Debido a las condiciones especiales de ubicación de la ciudad de Bogotá el comportamiento de la radiación varia a lo largo del día, con esto se puede deducir que la radiación tiene diferentes niveles de importancia, es decir que a determinadas horas del día es más importante asegurar el acceso solar ya que se puede recibir la mayor cantidad de energía solar, para el estudio es importante establecer en que horario la afectación de las sombras genera mayor impacto por la limitación de la radiación. Los valores de la radiación en la ciudad de Bogotá se pueden evidenciar en la imagen 5:

ESTACION UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (BOGOTÁ)

PROMEDIO HORARIO DE LA RADIACIÓN (Wh/m²)

HORA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0-1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,3
1-2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,5	0,4	0,2	0,4	0,4
2-3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,4	0,2	0,3	0,3
3-4	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,3
4-5	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,2	0,4	0,3
5-6	0,2	0,1	0,3	1,3	2,5	1,9	1,2	1,2	2,0	3,0	2,7	0,7
6-7	31,8	28,1	39,5	52,9	66,3	62,0	55,2	50,6	60,2	71,0	61,4	50,2
7-8	184,9	162,3	149,3	177,2	188,3	188,0	191,0	172,9	180,6	205,6	198,3	208,9
8-9	351,3	342,2	264,3	309,3	294,4	291,3	313,7	290,8	284,5	346,4	356,3	378,8
9-10	507,6	455,8	366,7	388,1	391,4	389,5	399,7	387,8	399,5	457,6	458,6	504,3
10-11	589,9	543,7	469,8	425,6	431,5	447,8	476,8	467,0	460,2	501,8	519,1	545,5
11-12	607,4	544,1	483,3	433,2	455,7	497,2	520,6	491,4	489,4	458,0	488,2	533,5
12-13	560,1	503,8	433,2	412,9	464,7	490,0	544,6	494,3	481,1	442,4	414,1	491,1
13-14	475,7	465,6	389,8	365,9	404,2	476,3	499,4	457,5	432,5	393,3	355,3	423,4
14-15	375,9	357,0	313,5	307,7	334,2	391,8	404,2	392,0	398,2	315,9	274,7	348,9
15-16	304,4	275,2	231,1	225,1	245,4	275,5	292,9	305,2	298,4	209,9	188,3	254,7
16-17	171,2	145,7	145,0	135,4	143,1	158,6	177,2	168,1	168,4	111,0	90,2	124,9
17-18	46,4	48,7	47,7	35,6	35,7	46,3	59,4	48,9	34,5	16,7	13,0	26,0
18-19	0,5	0,9	0,7	0,2	0,3	0,5	1,1	0,9	0,4	0,3	0,4	0,4
19-20	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2
20-21	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3
21-22	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2
22-23	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3
23-0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,5	0,2	0,3	0,2
Acumulada diaria	4207,3	3873,1	3334,2	3270,4	3457,9	3716,7	3937,1	3728,5	3690,0	3533,0	3420,7	3891,2

Entre 0 y 200 (Wh/m²) | Entre 200 y 400 (Wh/m²) | Entre 400 y 600 (Wh/m²) | Entre 600 y 800 (Wh/m²) | Mayor a 800 (Wh/m²)

Imagen 5. Irradiación Global Horizontal Promedio por Hora para la ciudad de Bogotá, medida con datos de la estación meteorológica de la universidad nacional.
Fuente. (IDEAM, 2018.)

El comportamiento de la radiación se ve en aumento desde la mañana hasta alcanzar su pico máximo alrededor del mediodía, para el caso del presente estudio

en el mes de octubre se observa que el pico máximo de radiación se encuentra a las 11 de la mañana, es importante mencionar que para ciudades como Bogotá con un clima frio asegurar el acceso solar en este periodo de máxima radiación es esencial para que las personas no se vean afectadas por la ausencia de energía solar y garantizar un confort térmico en las edificaciones (Curreli, 2016) :

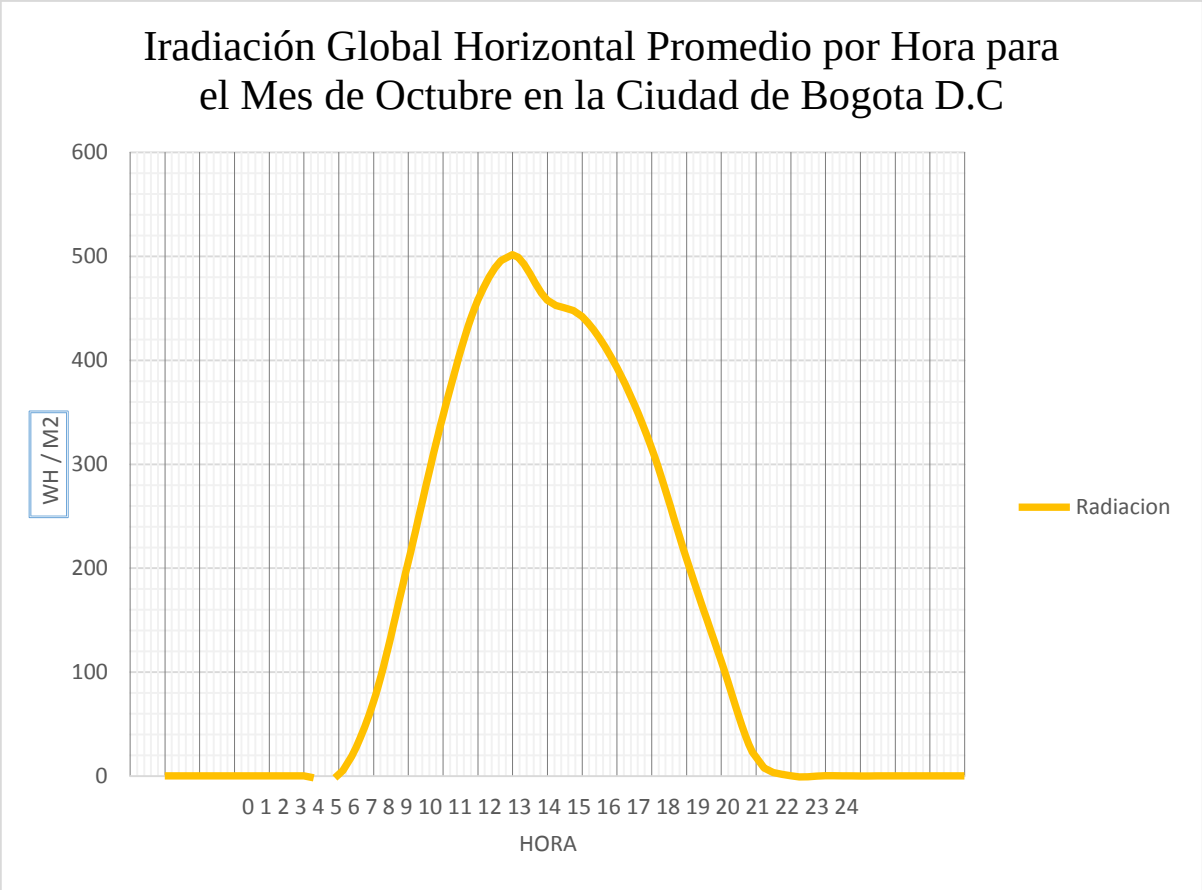


Imagen 6. Comportamiento de la Irradiación Global Horizontal Promedio por Hora para la ciudad de Bogotá.
Fuente (Autores)

6. METODOLOGIA

La presente metodología tiene como fin brindar productos sobre la proyección de sombras aplicada a amplias zonas urbanas sin la necesidad de recurrir a laboriosos procesos de cálculos, mediante la implementación de herramientas de sistemas de información geográficas.

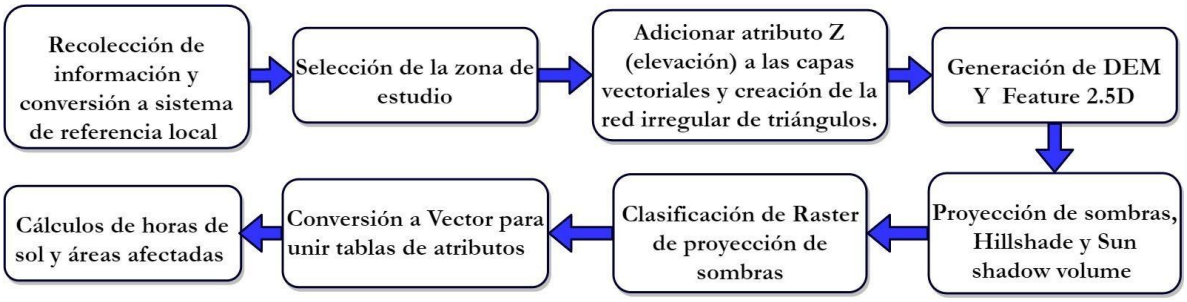


Imagen 7 esquema general de la metodología para el desarrollo del proyecto de grado.

La metodología del proyecto comienza con la consulta y descarga de la información en formato vector y raster de la ciudad de Bogotá, esta información fue descargada desde el IDECA, a esta información se le realizó la conversión y transformación al sistema de referencia local MAGNA_ciudad_Bogota, para posteriormente realizar la selección de la zona.

Tabla 2 información recolectada de la zona de estudio

Información	Entidad responsable
Construcción	Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital - UAECD
Lote	Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital - UAECD
Manzana	Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital - UAECD
Andén	Instituto de Desarrollo Urbano - Subdirección General de Desarrollo Urbano - Dirección Técnica Estratégica
Separador Vial	Instituto de Desarrollo Urbano - Subdirección General de Desarrollo Urbano - Dirección Técnica Estratégica
Curvas de Nivel	Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital - UAECD
Alturas por Manzana	Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital - UAECD
Sitios de Interés	Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital - UAECD
Colegios Oficiales Nuevos y Restitución	Secretaría de Educación Distrital
Parques y Escenarios Públicos Deportivos	Instituto Distrital de Recreación y Deporte - IDRD

6.1. Selección zona de trabajo

los criterios seleccionados para determinar del área de estudio fueron edificios de gran altura y los sitios considerados de interés (Parques, sector educativo, sector de la salud, jardines infantiles), con el fin de delimitar un área de trabajo que se

pueda modelar con las capacidades de ARCGIS y que los resultados obtenidos sean adecuados para el análisis, para ello se escogieron áreas preliminares a partir de la capa vectorial de alturas promedios por manzanas, (IDECA), con los resultados obtenidos se generó un modelo de alturas de edificaciones y concentración de sitios de interés para poder establecer valores estadísticos de cada zona. Con los resultados obtenidos de estos procedimientos se definió como zona de estudio las UPZ de Sagrado Corazón y Las Nieves teniendo como criterio primordial la concentración de edificios de gran altura como por ejemplo la torre Colpatria y el edificio Bacata.

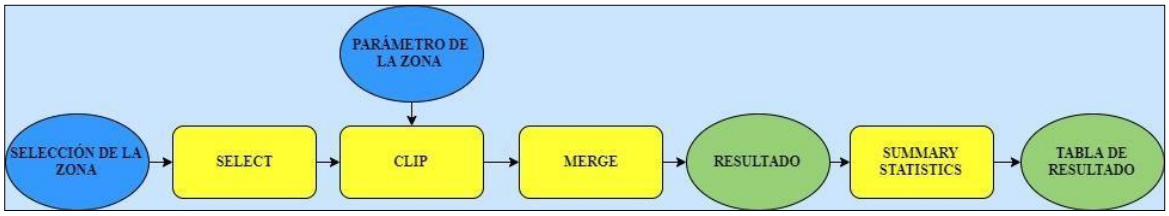


Imagen 8 esquema general del Modelo para la selección de la zona de estudio.

Seguidamente se genera el modelo digital de elevación (DEM) en formato raster, a partir de las curvas de nivel de intervalo cada metro obtenido en el IDECA, permitiendo también generar una red irregular de triángulos (TIN). Luego la capa vectorial de la zona seleccionada se adhirió a la superficie del DEM para para enriquecer el producto con el componente Z a la información (con estos insumos se podrá obtener más adelante un feature en 2.5D (imagen 9)

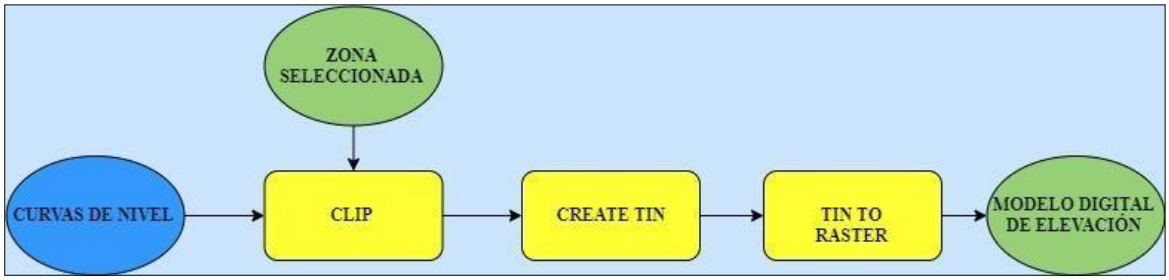


Imagen 9. Esquema general del modelo para la creación del DEM para la zona de estudio.

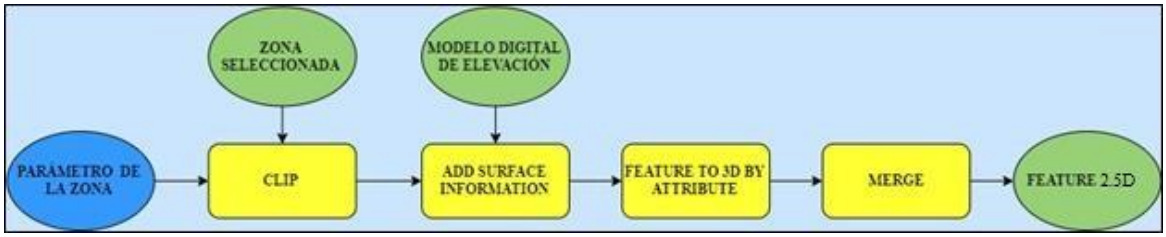


Imagen 10. Esquema general del modelo para la creación de los feature 3D para la zona de estudio.

Con los objetos en 2.5D se realiza la generación de sombras. Se utilizó dos herramientas: *hillshade y Sun Shadow Volume* para obtener las sombras en formato raster y volumen de sombras de manera visual, respectivamente.

En esta etapa de la metodología ya se cuenta con los productos necesarios para utilizar la herramienta sun shadow volume; para utilizar la herramienta hillshade se requieren más procesamientos con el fin de lograr un producto con las características de entrada que requiere la herramienta, estos se explican a continuación:

6.2. Herramientas Hillshade y Sun Shadow Volume

Hillshade: se requiere un raster con información 3D, para este estudio será 2.5D, a partir del feature 2.5D primero se debe realizar el proceso de extrusión del feature, esto se lleva a cabo en las propiedades de la capa, consta de dar volumen al feature multiplicando el número de piso por el valor promedio para cada uno de ellos, en este caso se definió como dos metros, luego se utiliza la herramienta Layer 3D To Feature Class para que la extrusión sea permanente y tome las características de un feature 3D (2.5 para este estudio), por último se utiliza la herramienta Multipatch to Raster para convertir la información a raster y poder generar el producto que nos servirá como insumo para utilizar la herramienta hillshade:

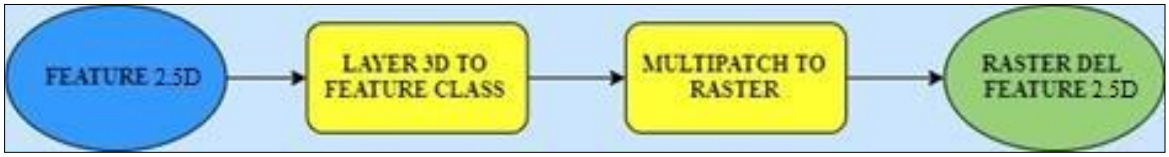


Imagen 11. Esquema general del modelo para convertir el feature 3D en raster para poder utilizarlo en la herramienta hillshade.

Cabe aclarar que para utilizar esta herramienta solo se realizó el procedimiento anterior con el modelo digital de elevación y la capa vectorial de construcciones, debido a que si introducimos más información estos también generaran una sombra que causaran interferencia a la hora de la interpretación de los raster de salida que contiene la proyección de sombras.

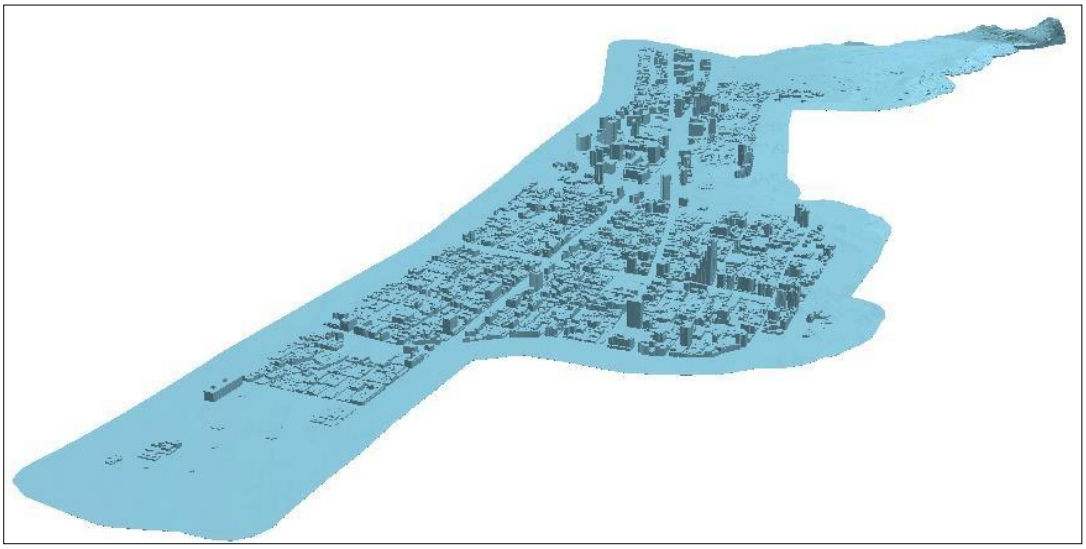


Imagen 12. Visualización de feature 3d para la zona de estudio

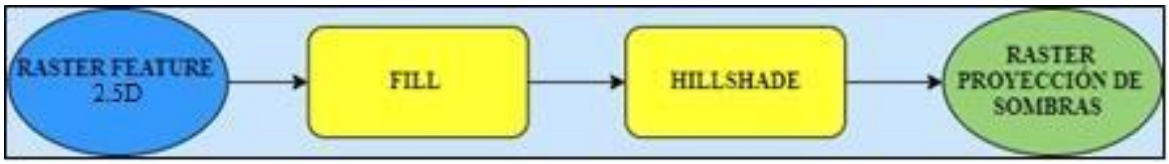


Imagen 13. Esquema general del modelo para el cálculo de proyección de sombras utilizando la herramienta hillshade.

La herramienta hillshade requiere como parámetros de entrada el azimut y altitud de la zona de estudio, para ellos se calculó el centroide de la unión de las dos UPZ, con estas coordenadas en la página web SunEarthTools.com se obtuvo los siguientes valores de Azimut y Elevación:

Tabla 3 Elevación y azimut de la zona de estudio

Fecha:	12/10/19	
coordenadas:	4.605494, -74.066753	
ubicación:	4.60549400,-74.06675300	
Hora	Elevación	Azimut
08:00:00	18.43	99.38
09:00:00	33.13	101.95
10:00:00	47.64	106.31
11:00:00	61.66	115.03
12:00:00	73.89	138.43
13:00:00	77.18	199.59
14:00:00	67.26	237.97
15:00:00	53.69	250.68
16:00:00	39.33	256.36
17:00:00	24.7	259.52

Fecha, azimut y elevación para la zona de estudio
Fuente:(SunEarthTools.com, 2019)

Es muy importante mencionar que para la correcta generación de las sombras con esta herramienta debe estar activada la casilla opcional *Model shadows* para que la herramienta considere los efectos de las sombras proyectada por los edificios.

Sun Shadow Volume: la aplicación de esta herramienta permitió la creación de volúmenes cerrados que modelan las sombras proyectadas por cada edificación usando la luz solar para una fecha y hora determinada, para utilizar esta herramienta se requiere el feature 3D (2.5 para este estudio), el huso horario de la zona, la fecha y hora del día que se quiere realizar la proyección, esta herramienta se utilizó de manera independiente para cada hora del día.

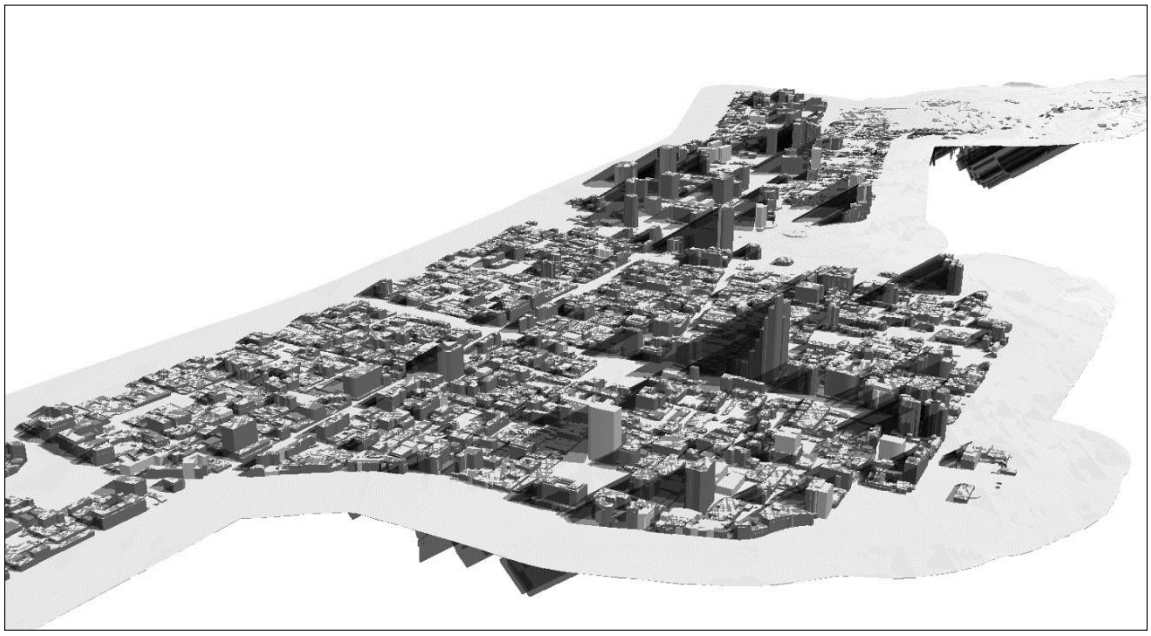


Imagen 14. Visualización volúmenes de sombras creados por la herramienta sun shadow volume

6.2. Reclasificación y determinación de horas de sombra en zonas de interés

En la reclasificación de pixeles se pretende extraer las proyecciones de las sombras generadas por los edificios. Se parte del producto obtenido por la herramienta hillshade, donde las sombras tienen un valor de pixel igual a 0, se asignó el valor de

1 para cada sombra generada en intervalos de una hora. De esta manera, la suma algebraica de los raster determina las horas de sombra diaria. Es muy importante tener en cuenta que para poder realizar operaciones matemáticas con los raster de la reclasificación con los sitios de interés y parques, con el fin de determinar las horas de sombras, se debió crear un campo con un valor numérico operable, ya que si no se realiza este paso la herramienta raster calculator tomaría las áreas de sitios de interés y parques como pixeles sin información (NoData) y no los operaria, generando así la omisión de información, en este caso se les asigno un valor de 0 para que lograran ser operados pero no brindara información adicional, la siguiente imagen brinda el esquema del modelo utilizado para este procedimiento, al correr el modelo se obtuvo la acumulación de horas de sombra sobre la zona de estudio y más específico sobre las zonas de interés.

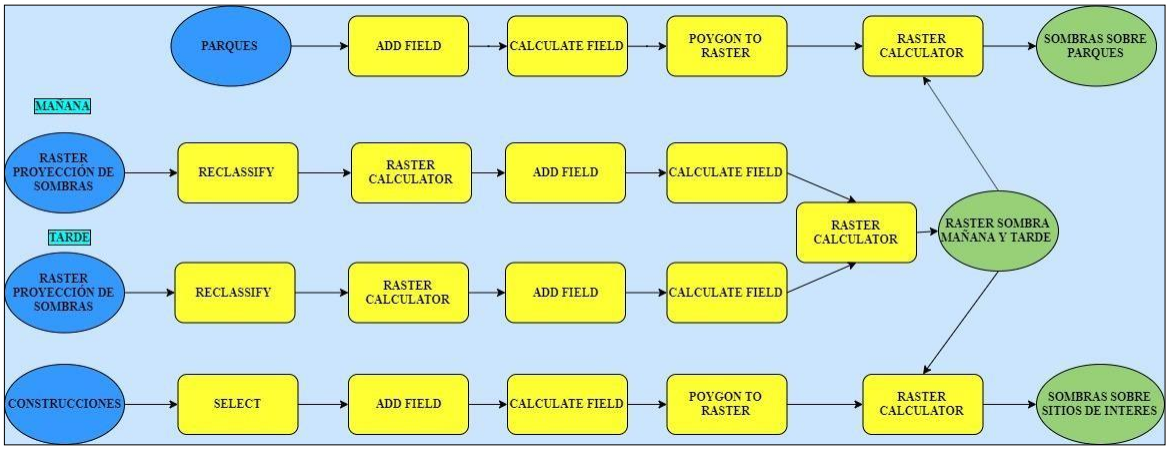


Imagen 15. Esquema general del modelo para la reclasificación de la proyección de sombras y el cálculo de acumulación de horas de sombra en la zona de estudio.

6.3. Calculo de horas de sombras y áreas afectadas

Para este proceso se utiliza la información base de sitios de interés que se encuentra en formato vector, se debe agregar un campo numérico para poder hacer suma algebraica entre raster en pasos más adelante, como se mencionó en la

reclasificación de raster en la imagen 11. Las operaciones para este cálculo se realizan en formato raster por lo tanto se convierten todo el formato vector a raster, , luego se realizó la suma entre los raster de sitios de interés y el raster de sombras, del cual se obtienen las sombras que se traslapan con cada sitio de interés y así determinar la porción de área y tiempo cubierto por la sombra. Continuando con la metodología la información raster se convierte a información vector nuevamente para realizar una unión con la capa vectorial del sitio de interés seleccionado inicialmente y recuperar la tabla de atributos que se perdió al convertirla en formato raster, lo que posibilitará el cálculo de áreas que será almacenado en un nuevo campo, para el cálculo de la geometría.

En cuanto a las duraciones de las sombras, se debe realizar realiza un clip con el feature original de los sitios de interés, para suavizar los pixeles en los bordes que resultaron en el proceso, luego se exportan los resultados en una tabla de Excel para realizar los cálculos estadísticos de las horas de sombra en cada área y posteriormente utilizarlos para graficarlas.

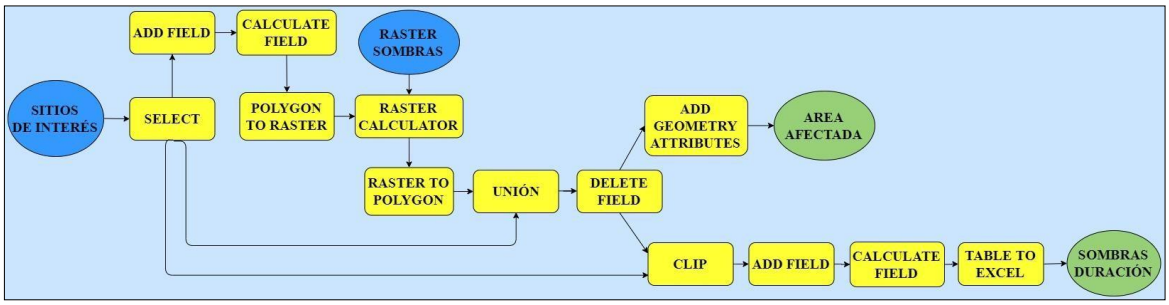


Imagen 16. Esquema general del modelo para determinar áreas afectadas y duración de sombras sobre los sitios de interés.

7. RESULTADOS

El proyecto dio como resultado un producto que proporcionó una comprensión sólida de la cantidad de sombras presentes en una zona de estudio determinada, además se pudo evidenciar la cantidad de sombra que se proyecta sobre los sitios de interés por las edificaciones de gran altura, para el proyecto se tomó el rango de tiempo de 8:00 am a 5:00 pm del día 12 de octubre de 2019, debido a que el cronograma establecido inicialmente contemplaba la verificación en campo de manera visual (Registro fotográficos).

7.1. Resultados Sun Shadow Volume

Los resultados de los volúmenes de sombras se observó una particularidad, la cual consta de la prolongación de los volúmenes de sombras más allá de la superficie de la zona de estudio, lo cual genera una interferencia en el análisis visual de las sombras, esto se debe a que en la herramienta sun shadow volumen no permite ingresar el parámetro de superficie que restrinja esta proyección, esto también se menciona en el trabajo realizado por (Jensen, 2017). Para dar solución a este problema se ubicó el TIN para que sirviera como límite visual de la proyección de las sombras.

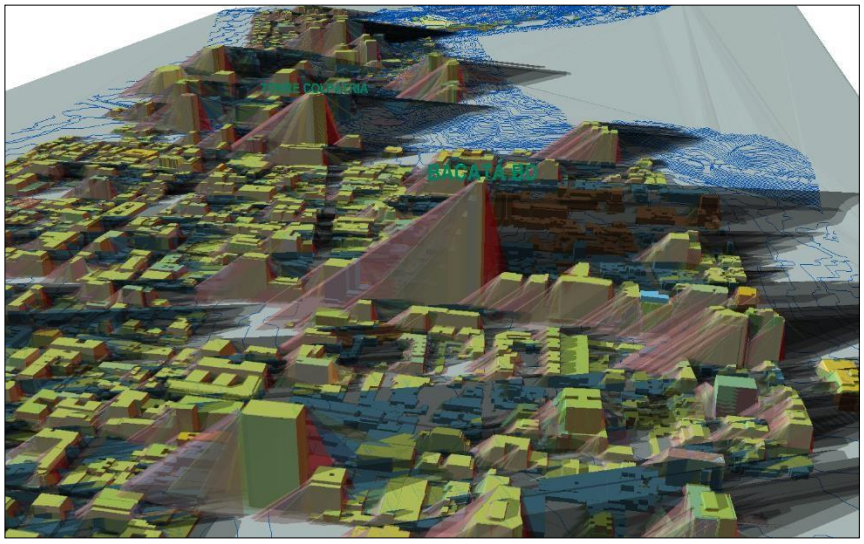


Imagen 17 limites diarios de la proyección de sombras

7.2. Resultados Hillshade

Con la información raster obtenidos por la herramienta hillshade se pudo evidenciar que para las zonas de estudio las proyecciones durante las horas de la mañana tienden en dirección sur-oeste y en las horas de la tarde la dirección cambia a sur-este. Adicionalmente se puede establecer que el comportamiento también se puede observar con la superposición de los volúmenes de sombras. Otra observación del comportamiento de las sombras en el horario de las 8:00 am, establece que la longitud de la sombra alcanza mayor proyección y luego se va reduciendo hasta las 12:00 pm para luego volver a aumentar en sentido contrario alcanzando la longitud máxima a las 5:00 pm.

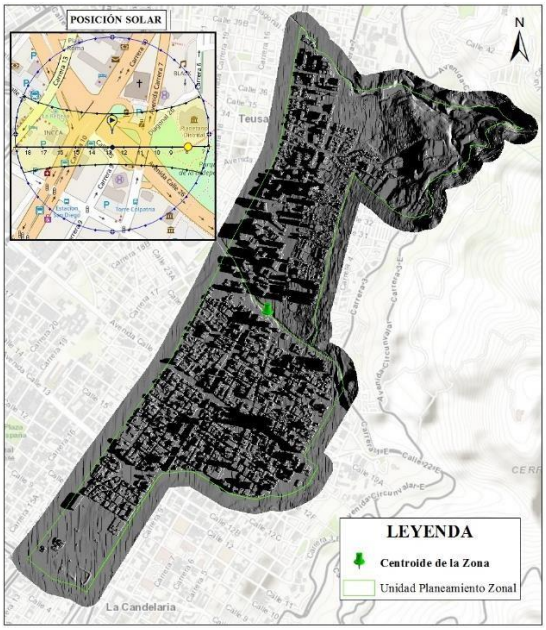


Imagen 18. Resultado herramienta Hillshade para las 8:00 am del 12 octubre

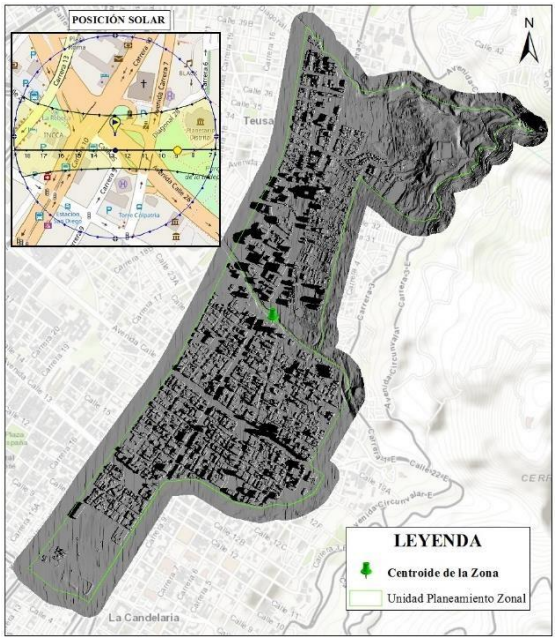


Imagen 19. Resultado herramienta Hillshade para las 9:00 am del 12 octubre

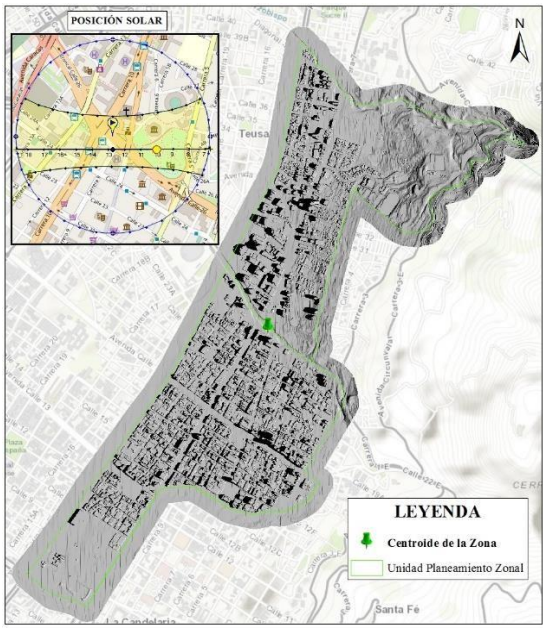


Imagen 20. Resultado herramienta Hillshade para las 10:00 am del 12 octubre

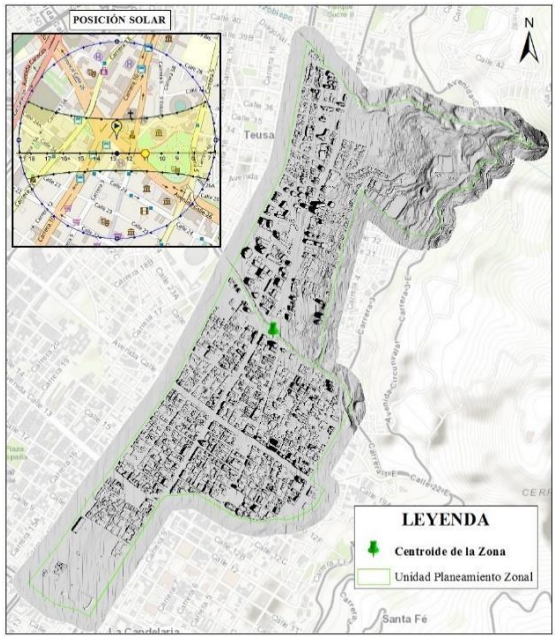


Imagen 21. Resultado herramienta Hillshade para las 11:00 am del 12 octubre

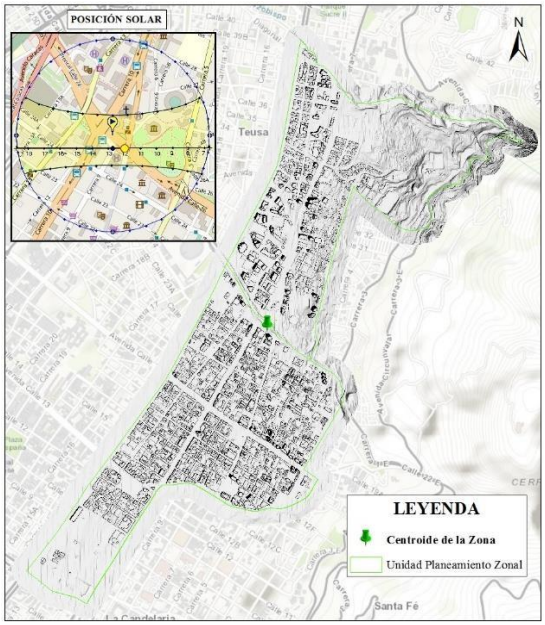


Imagen 22. Resultado herramienta Hillshade para las 12:00 pm del 12 octubre

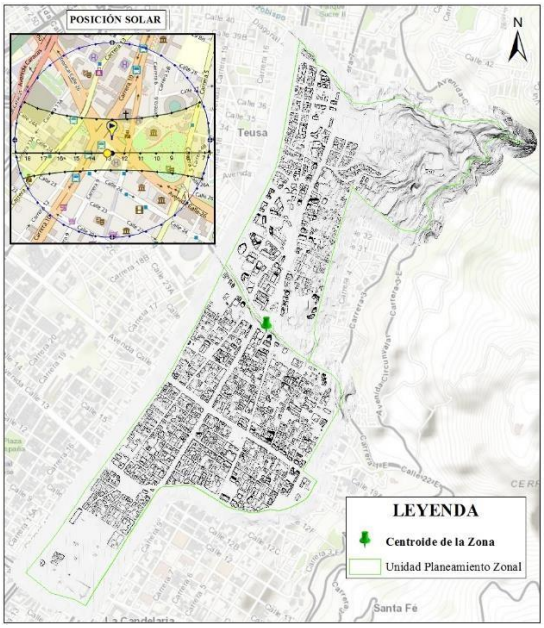


Imagen 23. Resultado herramienta Hillshade para las 13:00 pm del 12 octubre

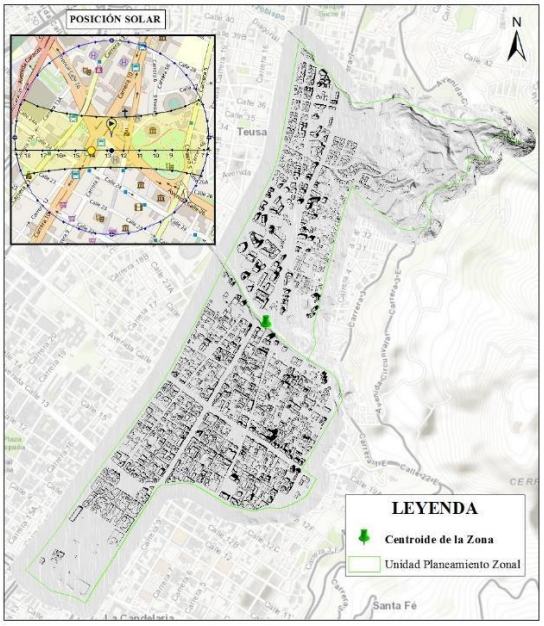


Imagen 24. Resultado herramienta Hillshade para las 14:00 pm del 12 octubre

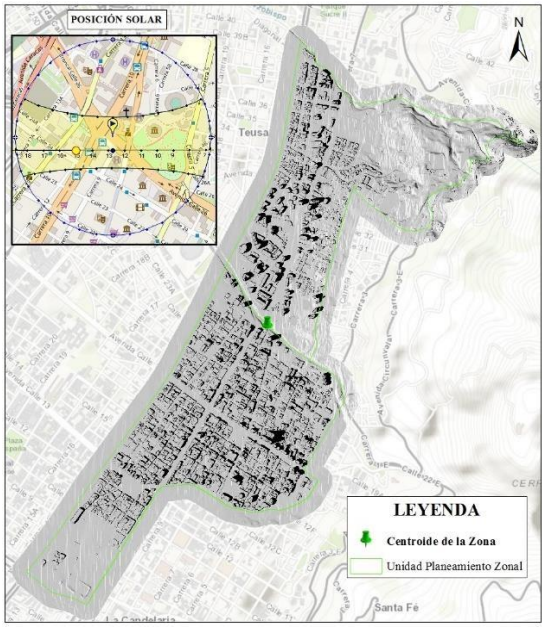


Imagen 25. Resultado herramienta Hillshade para las 15:00 pm del 12 octubre

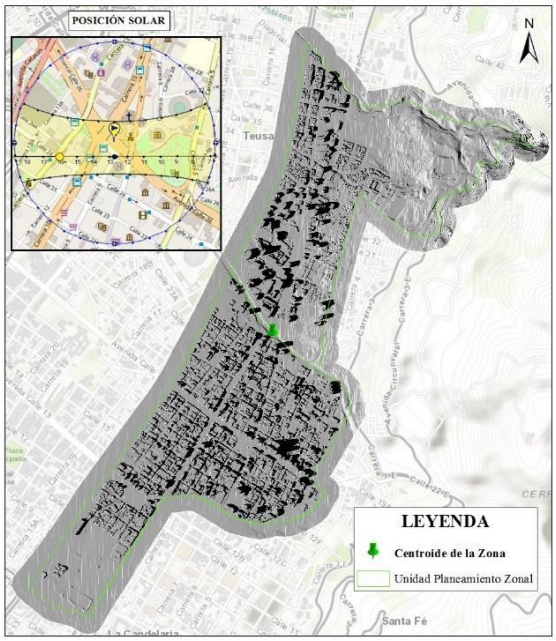


Imagen 26. Resultado herramienta Hillshade para las 16:00 pm del 12 octubre

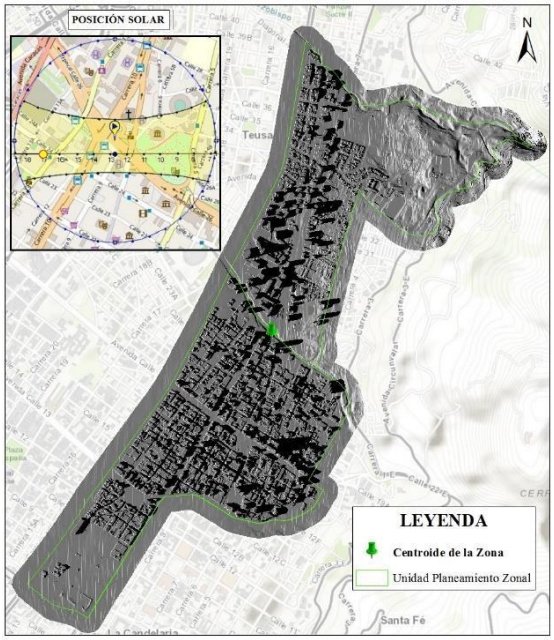


Imagen 27. Resultado herramienta Hillshade para las 17:00 pm del 12 octubre

Los resultados de la herramienta hillshade es un raster con niveles digitales de 0 a 255, lo cual dificulta la visualización de las zonas donde se proyecta la sombra. Al realizar la clasificación del raster dando valores de 1 en pixeles que representan sombra y valores de 0 a pixeles que representan otras coberturas (no sombra), se pudo evidenciar las zonas con sombras durante cada hora. Con lo anterior el estudio nos brinda una hipótesis donde se podría determinar las zonas que presenta sol o mayor radiación durante cada hora o todo el día, dependiendo del enfoque del estudio, como por ejemplo para la selección de zonas aptas para instalar paneles solares.

La afectación por sombras no solo se define por la presencia o no de ellas, también varía según la hora en la que se presenta debido a que los niveles de radiación son distintos, debido a esto toma importancia asegurar el acceso solar en las horas de máxima radiación como lo menciona (García & García, 2012), partiendo de esto se puede decir que las sombras generadas entre las horas de mayor radiación toman

mayor importancia en términos de afectación, para el mes de octubre en la ciudad de Bogotá se encuentran entre las 9 am y 1pm.

Este estudio brinda bases para determinar nuevas investigaciones que podrían complementarse utilizando otras herramientas de geoprocesamiento como Radiación Solar de Área y Gráficos de Radiación Solar que producen ese tipo de información como lo menciona (Jensen, 2017).

7.3. Resultados reclasificación

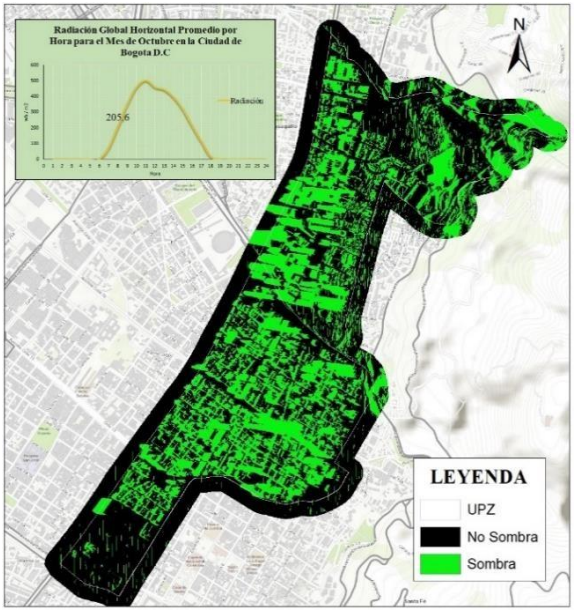


Imagen 28. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 8:00 am

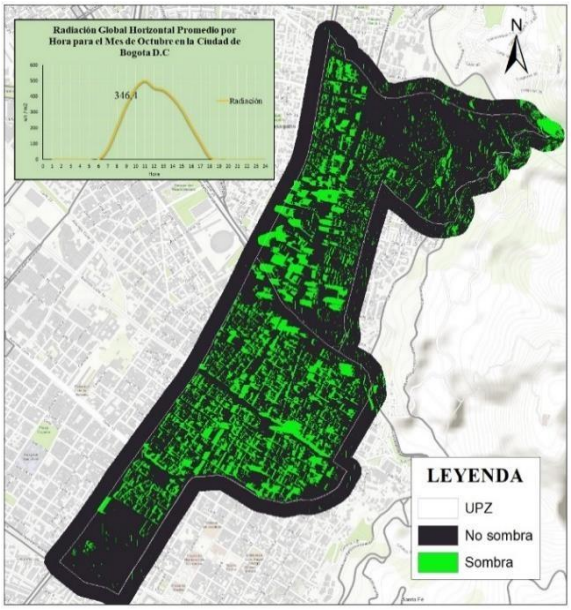


Imagen 29. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 9:00 am

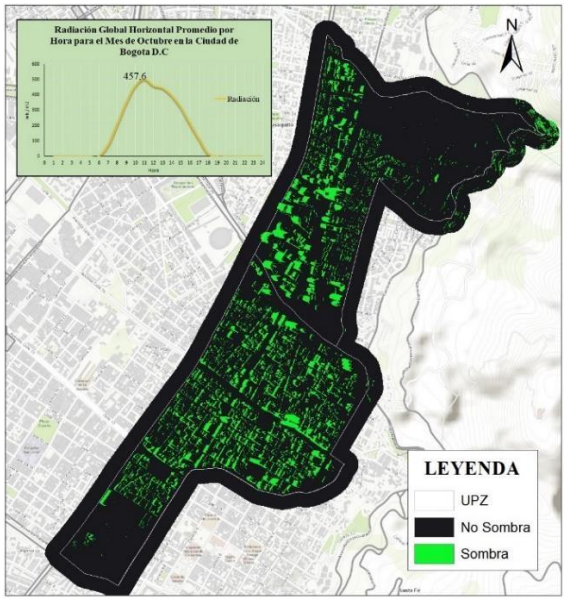


Imagen 30. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 10:00 am

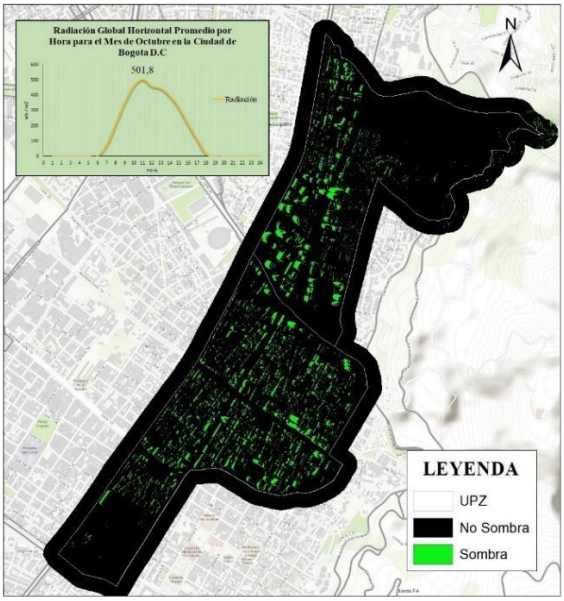


Imagen 31. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 11:00 am

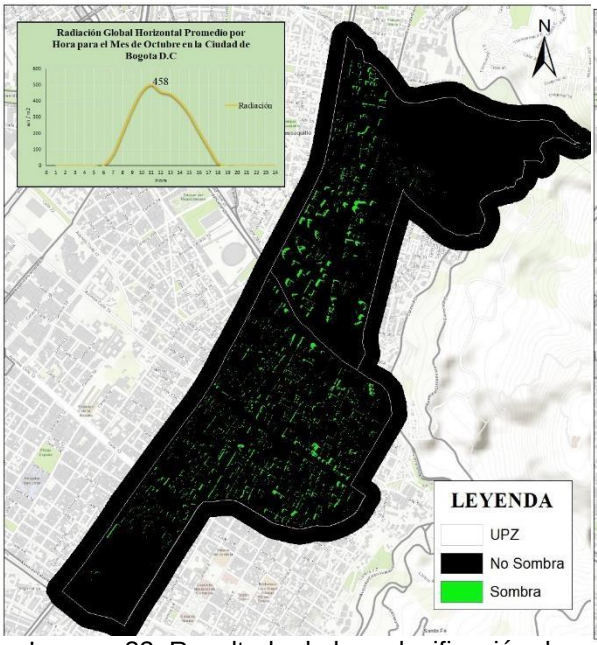


Imagen 32. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 12:00 pm

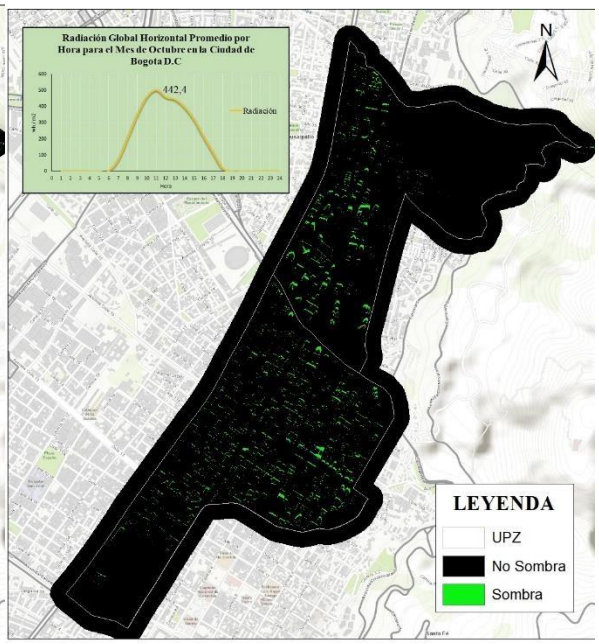


Imagen 33. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 13:00 pm

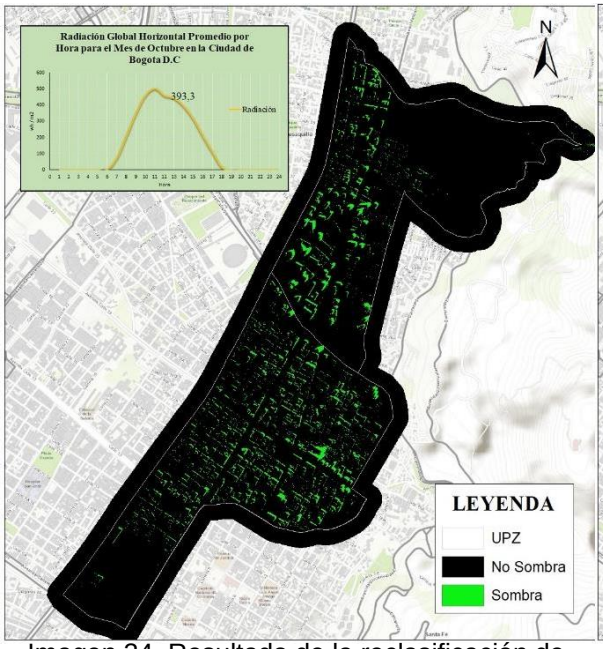


Imagen 34. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 14:00 pm

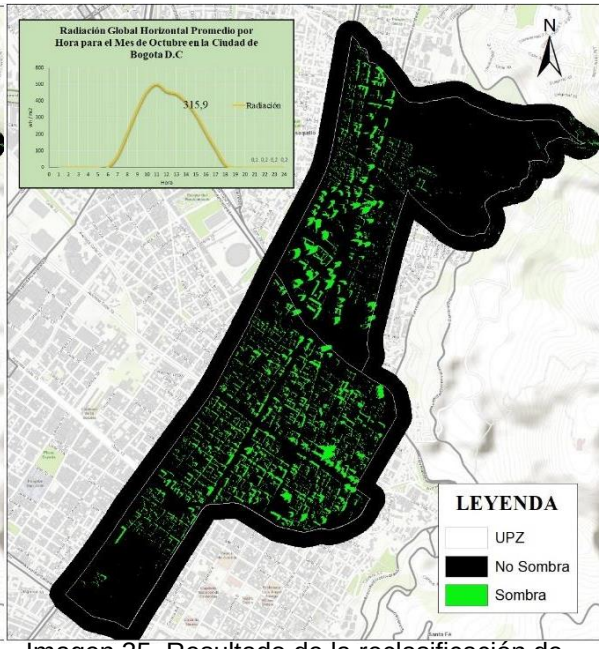


Imagen 35. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 15:00 pm

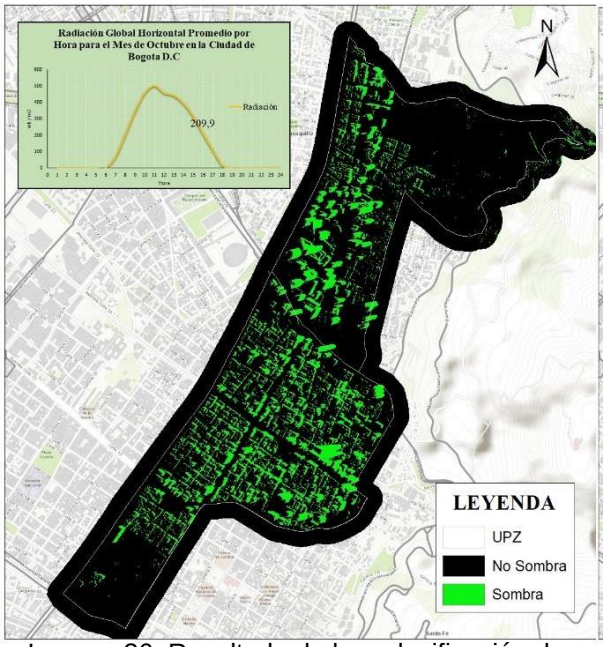


Imagen 36. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 16:00 pm

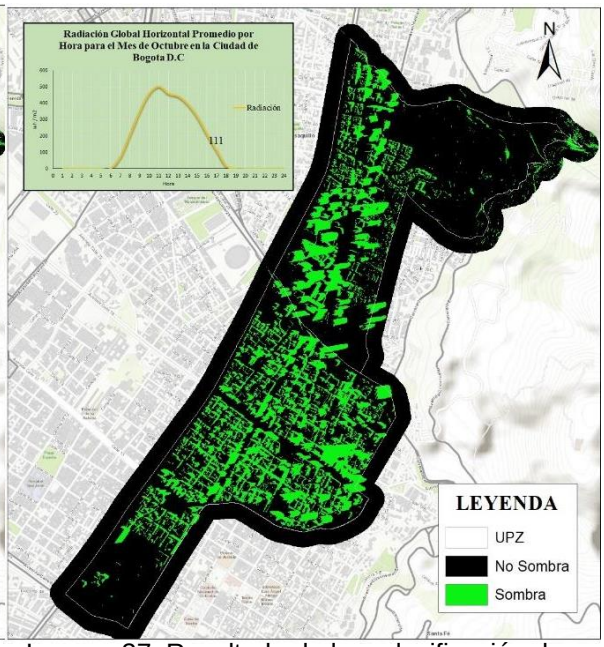


Imagen 37. Resultado de la reclasificación de la proyección de sombras de las 17:00 pm

La operación entre raster se realizó adicionalmente para poder identificar las áreas de acumulación de sombras por cada hora, partiendo del comportamiento de desplazamiento a lo largo del día, se obtuvo la máxima acumulación de horas de sombra a las 12 pm y la mínima a las 8:00 am y 5:00 pm.

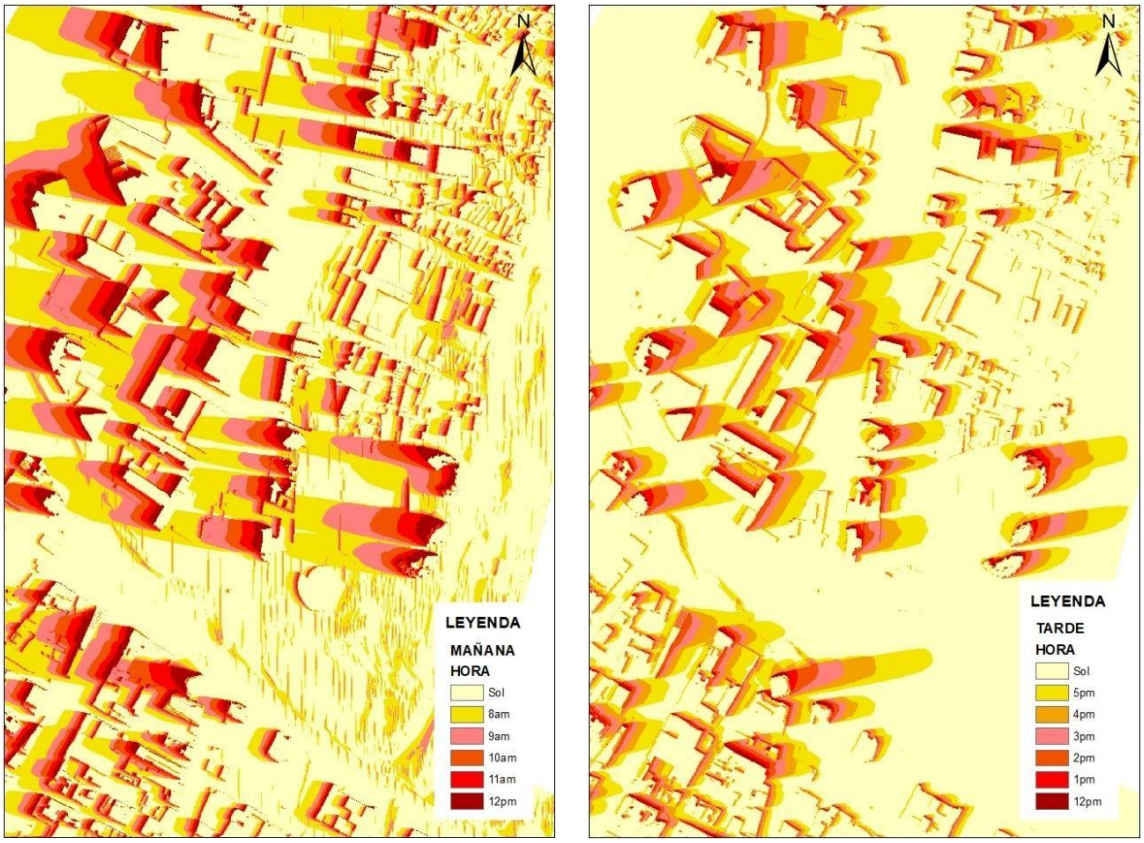


Imagen 38. Resultado de la operación entre las reclasificación de raster para la mañana y tarde

Para el análisis de los resultados se escogieron los sitios de interés con mayores porcentajes de cobertura de sombra generadas por edificios cercanos de gran altura, esta selección se realizó debido a que al relacionar los volúmenes de sombras y la información raster, se encontró que algunos sitios de interés eran afectados por la misma edificación a causa de presentar diferentes niveles de altura en el mismo predio, por consiguiente, no eran representativos para el objetivo del

estudio. Otro objetivo de la selección fue depurar los resultados y hacer más cómodo el análisis de resultado. A estos sitios escogidos se definieron como sitios críticos que a continuación se presenta los resultados para cada uno de ellos.

El parque de la independencia es el sitio de interés critico que evidencia menos impacto en comparación con los demás, fue escogido debido a que su afectación surge por parte de la torre Colpatria y debido a las características donde se ubica esta edificación facilita la comprobación en campo, además se evidenció que el análisis de los resultados dependerá del área sobre el cual se evalúa la proyección de la sombra, porque en este caso la sombra de la torre Colpatria cumbre un gran área pero no se ve reflejada tan evidente en los porcentajes como de manera visual.

Con la comprobación en campo se pudo determinar que la altura en la modelación es menor, por ende, la afectación en la realidad sobre este parque es mayor a la encontrada con los volúmenes de sombra.

Partiendo de los resultado plasmados en la tabla 4 y la imagen 45, se visualiza el comportamiento del porcentaje de cobertura de sombra respecto a su área a cada hora, se deduce que en la mayoría de los sitios de interés el área que garantiza un acceso solar permanente es mayor en las horas de la mañana que en la tarde, las horas que generan una mayor afectaciones a las edificación en la mañana es la 8:00 am y en la tarde las 4:00 pm y 5:00 pm, lo cual se puede visualizar en los picos de los extremos de la imagen 45, con la imagen también se evidencia el comportamiento de afectación por sombras es similar entre los sitios de interés exceptuando el sitio de interés referente a el tipo de salud, el cual tiene un comportamiento distinto debido a que colinda con un edificio de gran altura.

En la mañana los sitios de interés categorizado como críticos tiene un acceso solar permanente entre 20% y 47%, mientras tanto en la tarde se encuentra un valor

mínimo de 3,4% y máximo de 62.8%, siendo predominante los valores de bajo acceso solar permanente, lo cual evidencia que en la tarde la afectación es mayor. Al observar el comportamiento de mañana a tarde, 3 de los 5 sitios de interés tomados para el análisis siguen el comportamiento de tener mayor porcentaje de acceso solar permanente en las horas de la mañana y el cual se reduce en la tarde. La variación más grande en la reducción de soleamiento se observa en el colegio Policarpa Salavarrieta, donde se redujo en un 43.8% el soleamiento permanente en la tarde (imagen 43), la menor variación sucedió en el colegio maría auxiliadora donde el acceso solar permanente era menor en un 23.8% en la mañana (imagen 41).

Como ya se mencionó anteriormente los sitios de interés que tiene una mayor afectación es debido a la presencia de edificaciones de gran altura como el Edificio Bacatá BD.

Los edificios con menor afectación como el caso del colegio maría auxiliadora se podrían considerar como el de mayor potencialidad para el aprovechamiento de energía solar en comparación con los demás sitios de interés seleccionados, este es otra potencialidad del estudio de sombras, desde luego se requieren más estudios que involucren la determinación de valores de radiación como ya se ha mencionada para ratificar esta afirmación.

7.4. Resultados zonas críticas

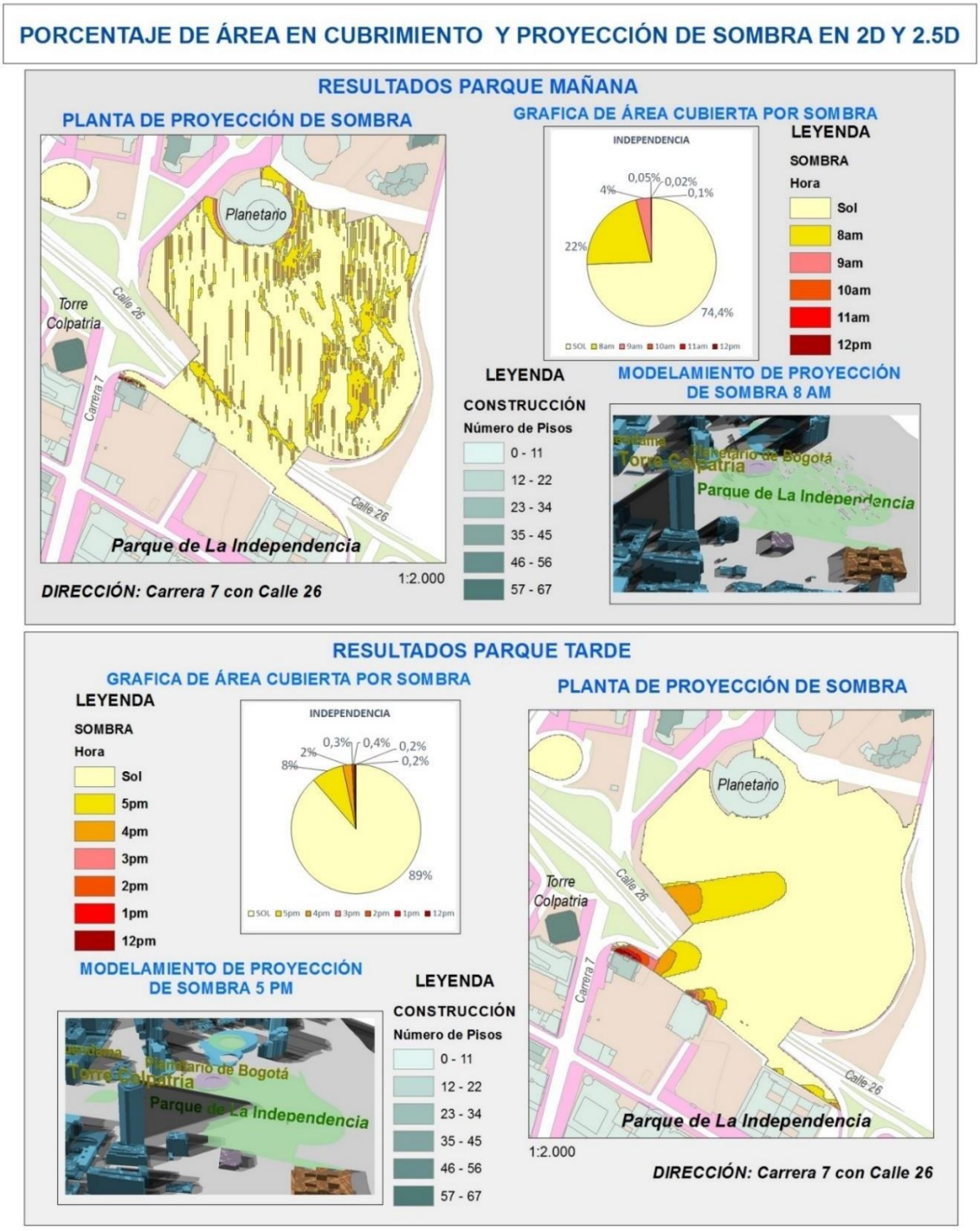


Imagen 39. Cartodiagrama de resultados en porcentaje de sombra mañana y tarde Parque de La Independencia

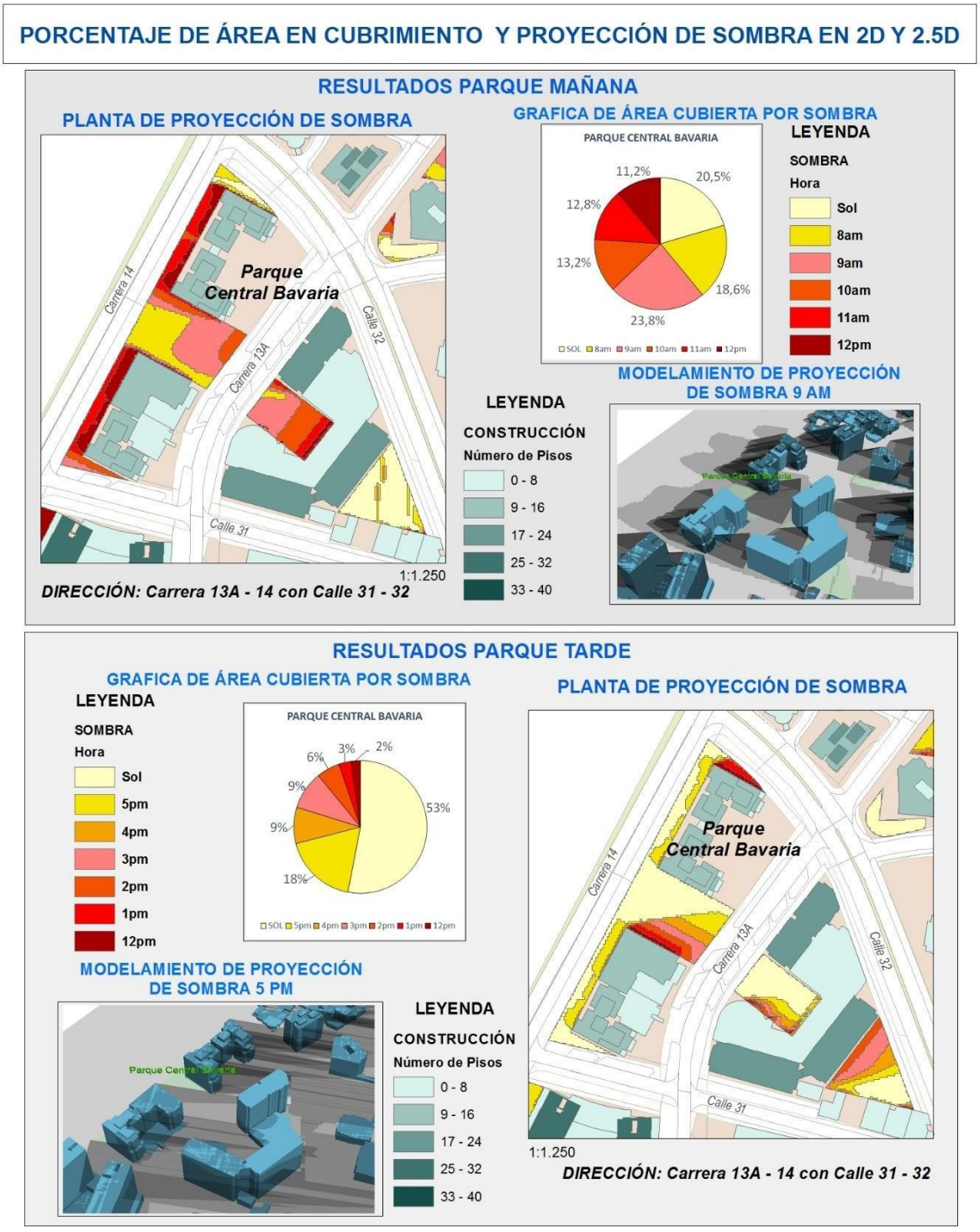


Imagen 40. Cartodiagrama de resultados en porcentaje de sombra mañana y tarde Parque Central Bavaria

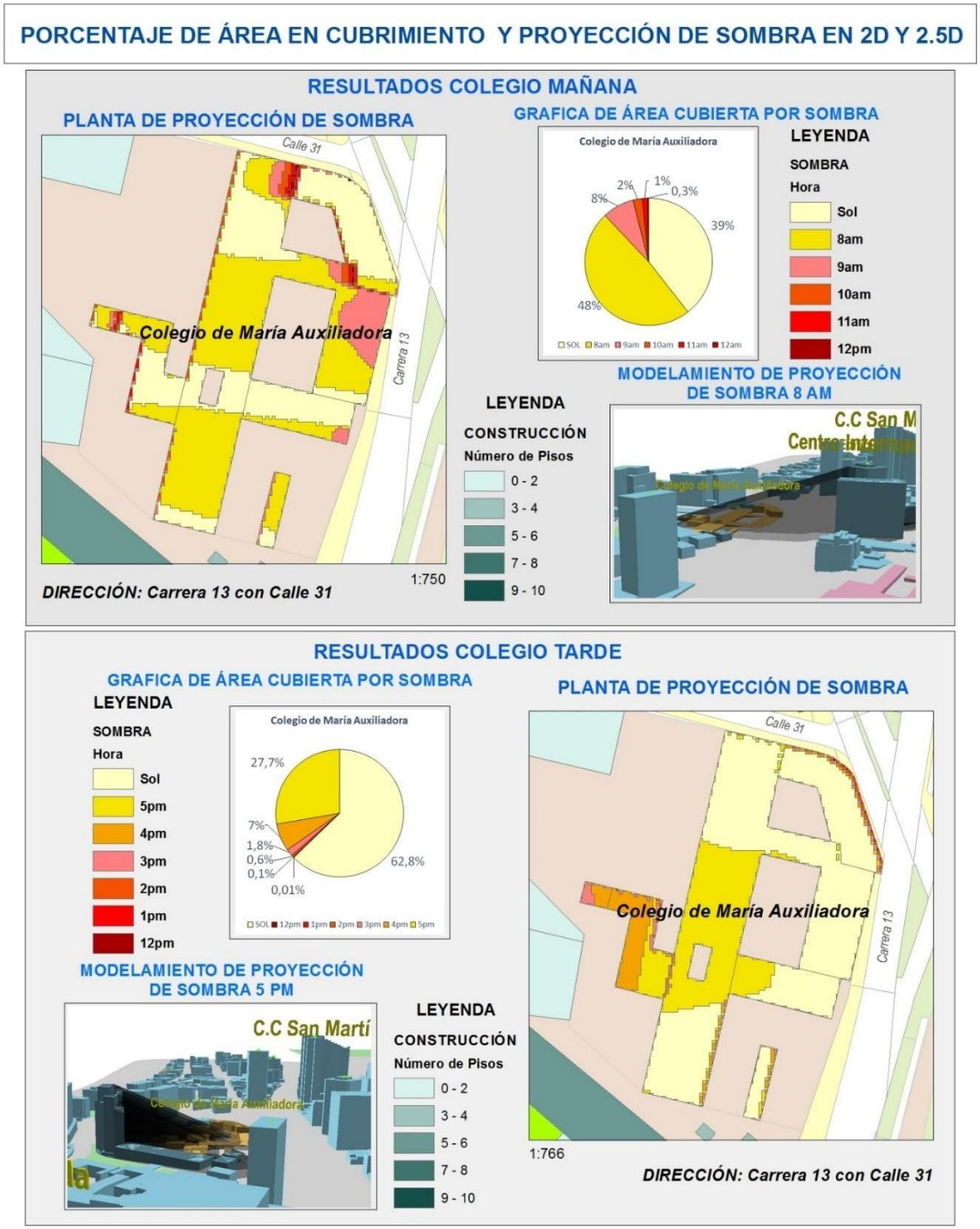


Imagen 41. Cartodiagrama de resultados en porcentaje de sombra mañana y tarde Colegio de María Auxiliadora

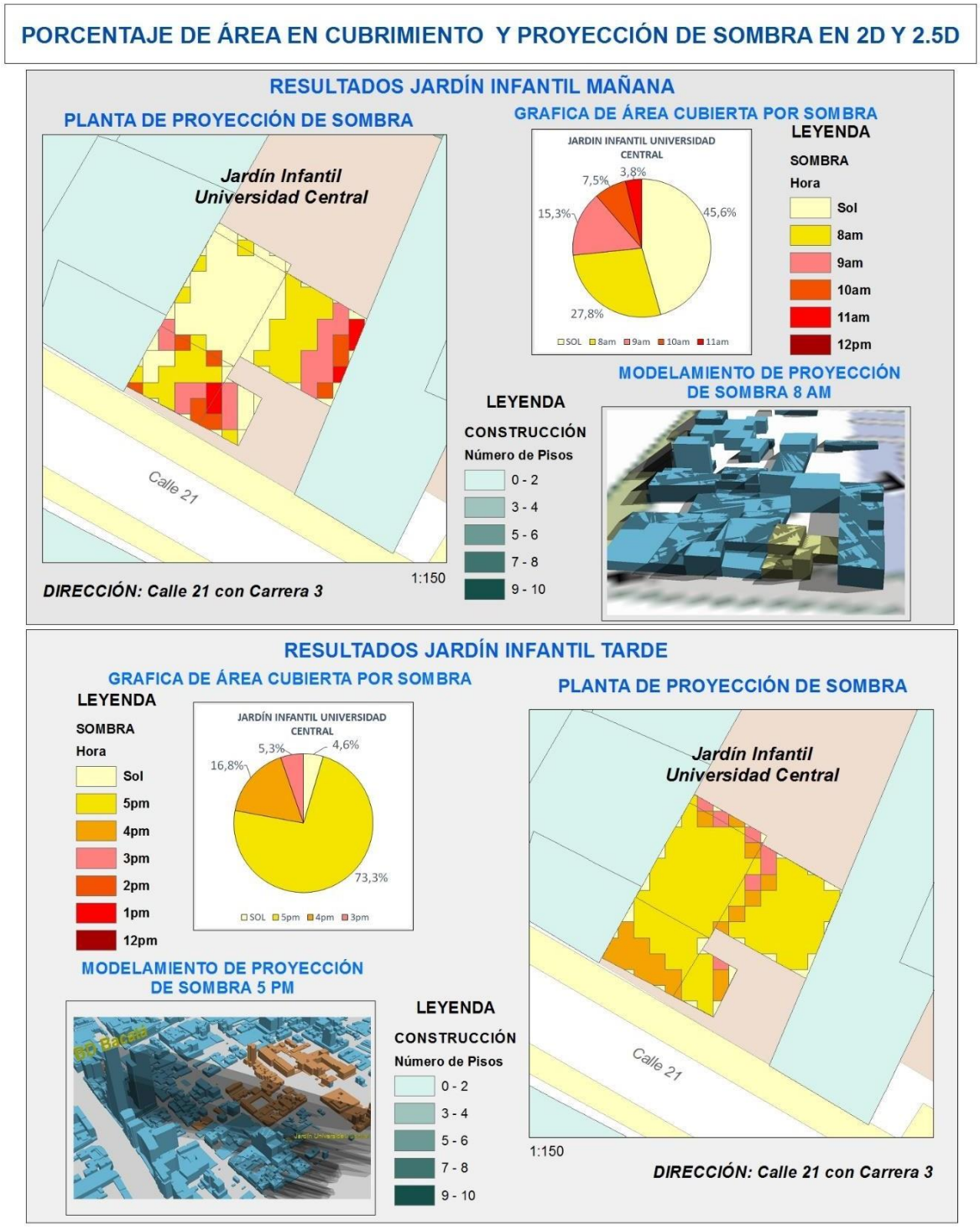


Imagen 42. Cartodiagrama de resultados en porcentaje de sombra mañana y tarde Jardín Infantil Universidad Central

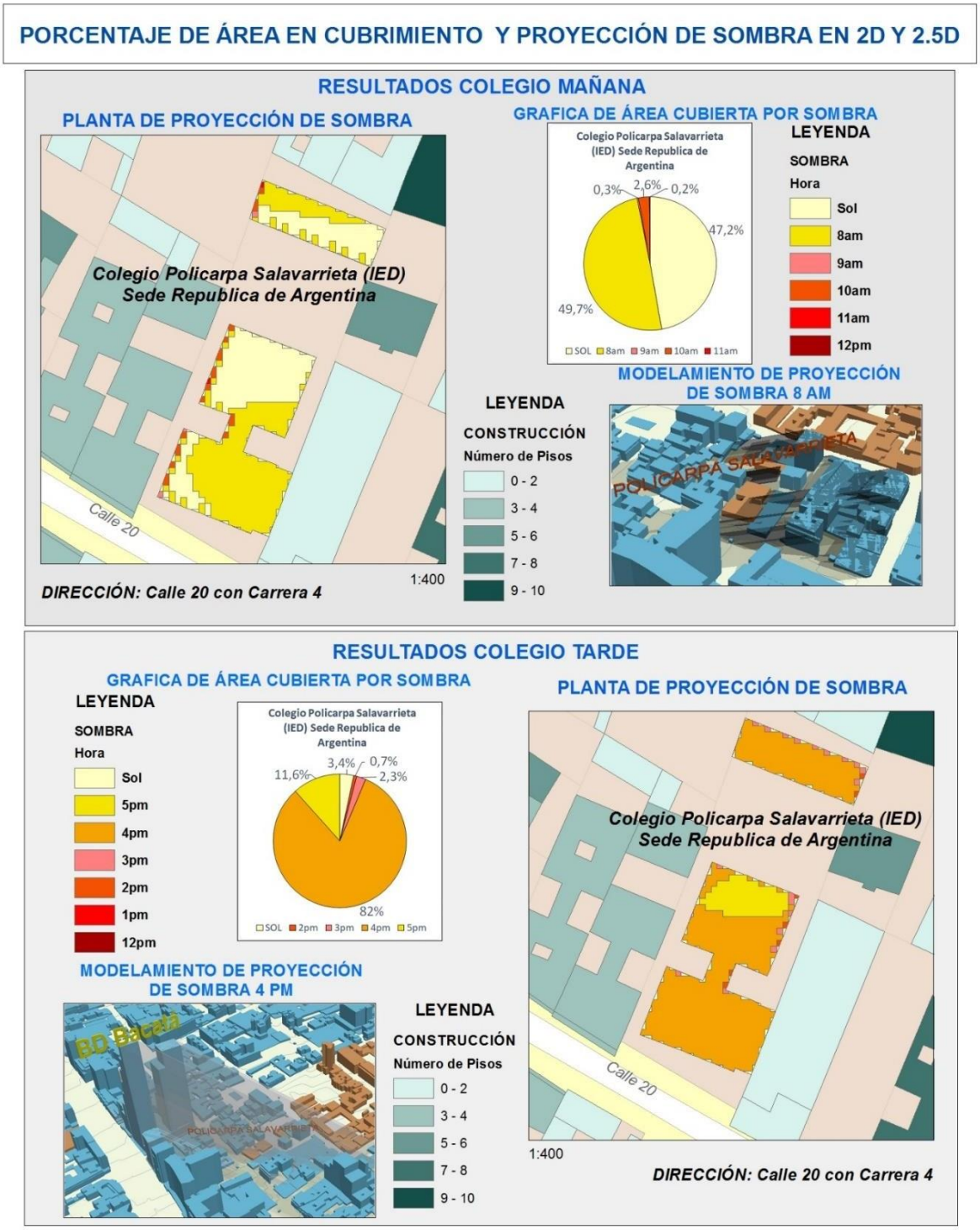


Imagen 43. Cartodiagrama de resultados en porcentaje de sombra mañana y tarde Colegio Policarpa Salavarrieta (IED) Sede República de Argentina

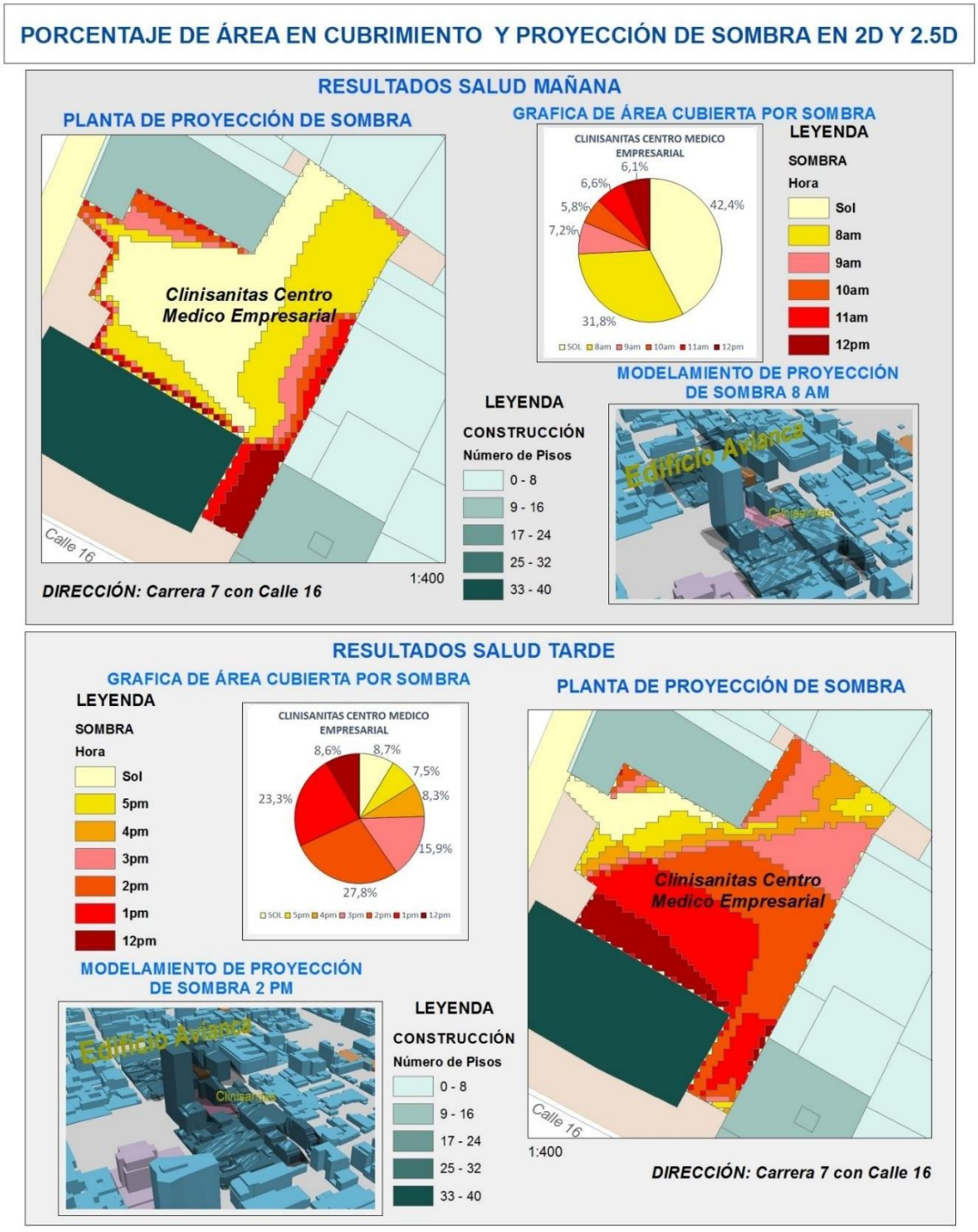


Imagen 44. Cartodiagrama de resultados en porcentaje de sombra mañana y tarde Clínica sanitas Centro Medico Empresarial

Tabla 4 porcentajes de sombra para cada hora de los sitios de interés, clasificados según la radiación

RESULTADOS DE PORCENTAJE DE SOMBRA EN SITIOS DE INTERÉS EN LA ZONA DE ESTUDIO															
ID	NOMBRE	TIPO	Área m²	MAÑANA						TARDE						
				% Sol	% Sombra					% Sol	% Sombra					
				Sol Mañana	8am	9am	10am	11am	12pm	Sol Tarde	12pm	1pm	2pm	3pm	4pm	5pm
1	Clinisanitas Centro Medico Empresarial	Salud	1645,52	42,4	32	7,2	5,8	6,6	6,1	8,7	8,6	23	28	16	8,3	7,5
2	Jardín Infantil Universidad Central	Social	201,3	45,6	28	15	7,5	3,8	0	4,6	0	0	0	5,3	17	73
3	Colegio Policarpa Salavarrieta (IED) Sede Republica de Argentina	Educación	635,3	47,2	50	0,3	2,6	0,2	0	3,4	0	0	0,7	2,3	82	12
4	Colegio de María Auxiliadora	Educación	4824,5	39	48	8	2	1	0,3	62,8	0,01	0,1	0,6	1,8	7	28
5	Parque Central Bavaria	Parque	5281,2	20,5	19	24	13,2	12,8	11,2	53	2	3	6	9	9	18
	PROMEDIO HORARIO RADIACIÓN PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ		Entre 0 y 200 (Wh/m²)		Entre 400 y 600 (Wh/m²)		Mayor a 800 (Wh/m²)									
	Estación Universidad Nacional de Colombia (BOGOTÁ)		Entre 200 y 400 (Wh/m²)		Entre 600 y 800 (Wh/m²)											

Fuente (IDEAM, 2018)

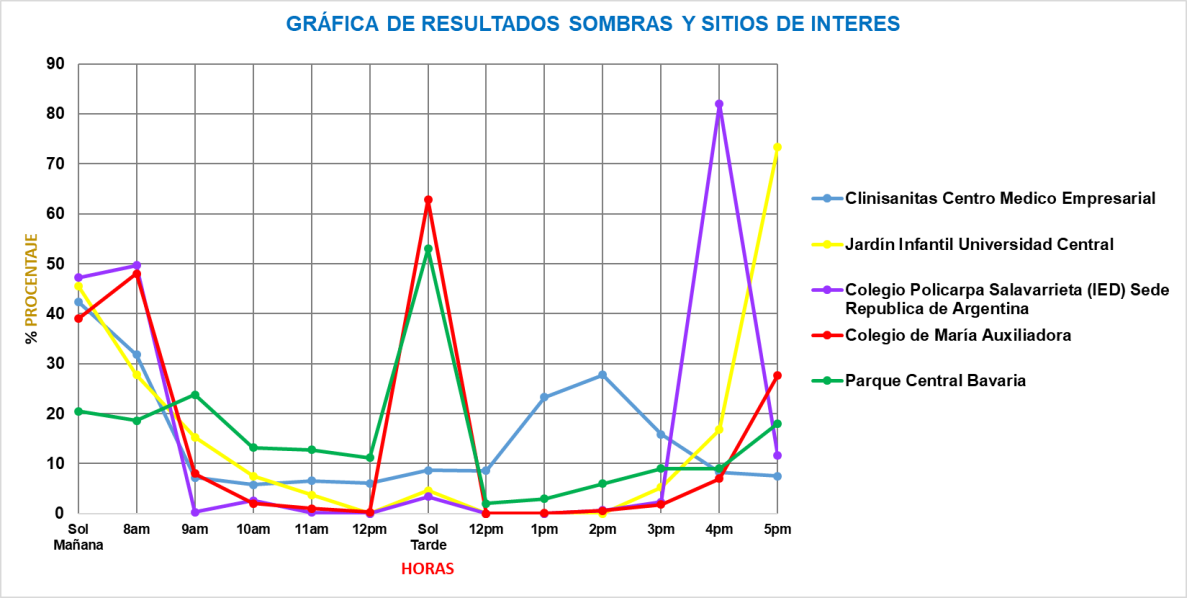
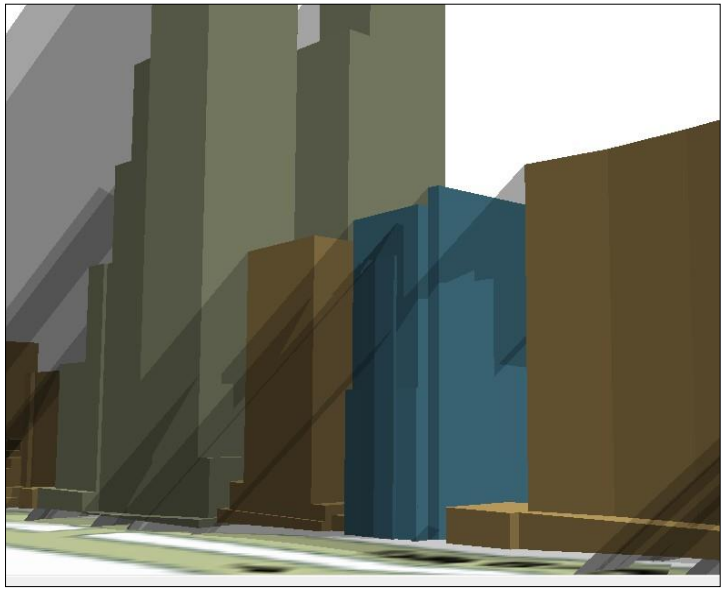


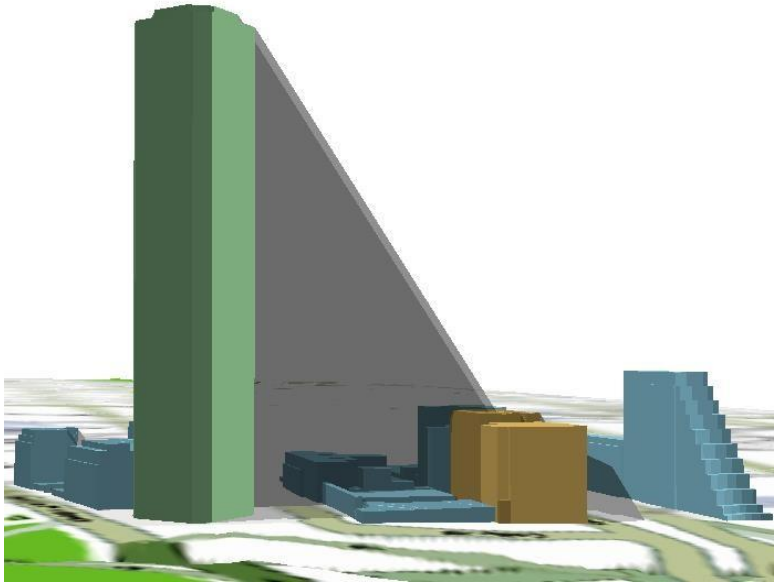
Imagen 45 comportamiento de los porcentajes de sombras durante el día 12 de octubre de 2019

7.5. Resultados Trabajo de campo

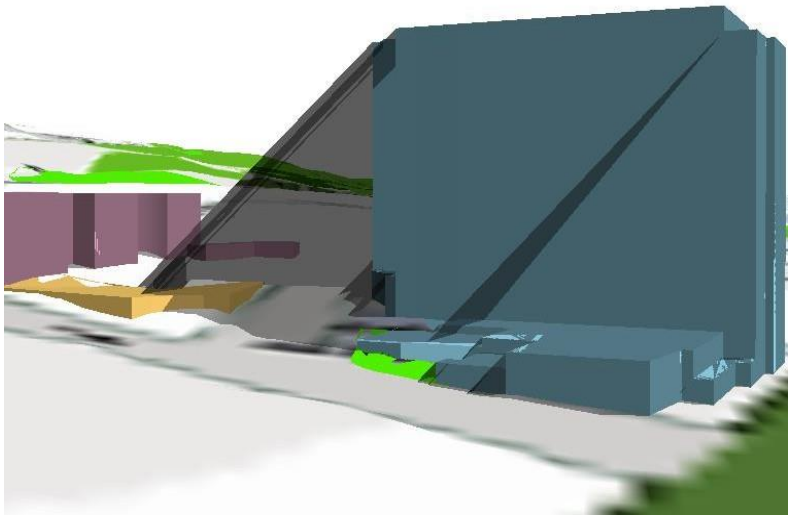
FECHA	12/10/2019	**HORA**	8:33 am	
DIRECCIÓN	Avenida Calle 19 con Carrera 4	**SITIO DE INTERES**	BD Bacatá	
COMPARACION DEL MODELAMIENTO DE SOMBRAS Y FOTOGRAFIAS EN CAMPO				

FOTOGRAFÍA	**ARCSCENE**
	
Imagen 46 fotografía en campo de la proyección de sombras entre edificios en el centro de Bogotá	Imagen 47 volúmenes de sombras calculados con la herramienta Sun Shadow Volume

FECHA	12/10/2019	HORA	9:26 am
DIRECCIÓN	Avenida Calle 26 con Carrera 7	SITIO DE INTERES	Torre Colpatria
COMPARACION DEL MODELAMIENTO DE SOMBRAS Y FOTOGRAFIAS EN CAMPO			

FOTOGRAFÍA	ARCSCENE
	
Imagen 48 fotografía en campo de la proyección de sombra de la torre Colpatria	Imagen 49 volúmenes de sombras calculados con la herramienta sun shadow volume para la torre Colpatria

FECHA	12/10/2019	HORA	2:33 pm
DIRECCIÓN	Calle 28 con Carrera 6	SITIO DE INTERES	Ibis Hotel
COMPARACION DEL MODELAMIENTO DE SOMBRAS Y FOTOGRAFIAS EN CAMPO			

FOTOGRAFÍA	ARCSCENE
	
Imagen 50 fotografía en campo de la proyección de sombra de Hotel Ibis	Imagen 51 volúmenes de sombras calculados con la herramienta sun shadow volume para el Hotel Ibis

8. CONCLUSIONES

El modelo demuestra que se puede generar la proyección de las sombras en entornos urbanos de una extensión considerable y/o sitios puntuales de interés, lo cual se ha determinado como una problemática sobre estos estudios como lo menciona (García & García, 2012) y (Ratti & Morello, 2009).

Se determinó la existencia de afectación por proyecciones de sombras en términos de porcentaje de cobertura de área de los sitios de interés, calculados a cada hora, lo cual sirve como base de investigación para futuros estudios, debido a que en la bibliografía revisada no se encontró resultados en términos de porcentaje en Colombia.

Para el estudio fue de gran importancia la disposición de la información del distrito capital como datos abiertos (IDECA), lo cual facilita la generación de investigaciones que involucren datos con componente espacial, a nivel de estudios que tengan como objetivo el mejoramiento de la ciudad.

En la visita en campo se pudo corroborar que la proyección generada por el modelamiento concuerda en dirección y volúmenes en comparación con las encontradas en campo, lo cual sirve para verificar la consistencia en cuanto a dirección y volúmenes de los resultados obtenidos.

Partiendo de la afirmación que las horas más importantes de asegurar el acceso solar son las horas de máxima radiación que para el mes de estudio se encuentra entre las 9:00 am y 1:00 pm según la imagen 5, el sitio de interés más afectado en las horas de la mañana que involucran esta franja, es el parque central Bavaria con un porcentaje de sombra acumulada del 61% y en la tarde el sitio de interés con

mayor afectación en esta franja es el sitio de interés clinisanitas con un 31,9% de sombra acumulada.

9. RECOMENDACIONES

Con la comprobación en campo se pudo evidenciar que en la modelación la altura de la torre Colpatria es menor a la real, esto debido a la suposición de 2 metros de altura por cada piso, por esta razón surge la recomendación que el distrito debería contar con el feature 3D y un modelo de elevación de superficie de la ciudad, para asegurar una mayor precisión en posteriores estudios. Establecer un campo, en las capas base vectoriales del distrito capital, que permita almacenar el dato de altura por piso para cada edificio, el cual facilite el cálculo de la altura total de la edificación.

Se recomienda que al realizar los análisis de resultados se debe hacer la comparación de los volúmenes de sombras, raster de sombras y observaciones en campo para evitar factores de errores como sombras generadas por el mismo edificio, sobras generadas por separaciones entre edificios y veracidad de la altura real de los edificios más representativos para el estudio. Además, generar estudios enfocados a el análisis de a la clasificación de las posibles fuentes de error, para mejorar la exactitud de los resultados.

Se considera importante tener en cuenta un estudio de proyección de sombras para la definición del límite máximo de pisos construidos establecido en el POT, ya que en la actualidad este factor no es tenido en cuenta y con este trabajo se puede demostrar la existencia de afectaciones en cuanto a la restricción del acceso solar a edificaciones por construcciones de gran altura. (Kanters & Horvat, 2012) plantea en su estudio la energía solar como factor para el ordenamiento territorial, lo cual apoya esta conclusión.

Se recomienda para estudios posteriores generar resultados que tengan en cuenta más variables que ayuden a profundizar en el tema de proyección de sombras, aportando en la toma de decisiones de temas como aumento de la calidad de vida

en términos de confort térmico en edificaciones, toma de decisión en ordenamiento territorial sobre edificaciones de gran altura, zonas aptas para el aprovechamiento de energía solar y en la valorización de predios o propiedades horizontales en el ámbito del mercado inmobiliario como lo menciona (Mendoza Castañeda, 2015).

10. BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía Mayor de Bogotá - Secretaría de Planeación. (2018). *Etapa de formulación revisión general plan de ordenamiento territorial*. Retrieved from http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/093_las_nieves.pdf

Capeluto, G., Yezioro, A., Bleiberg, T., & Shaviv, E. (2006). Solar rights in the design of urban spaces. *PLEA 2006 - 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Conference Proceedings*, (June). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/237642688_Solar_Rights_in_the_Design_of_Urban_Spaces/link/0deec527896ff388db000000/download

Cárdenas, L., Vasquez, J., & Turnbull, N. (2014). Assessment of Solar Access in different urban space configurations in two southern latitude cities with mild climates . *Ahmedabad*, (December), 1–8. Retrieved from http://www.plea2014.in/wp-content/uploads/2014/12/Poster_PA_2583_PR.pdf

CONSTRUMATICA. (n.d.). Azimut | Construpedia, enciclopedia construcción. Retrieved October 28, 2019, from https://www.construmatica.com/construpedia/Azimut

Curreli, A. (2016). *El acceso solar a la escala del tejido urbano. El enfoque morfológico y el método de análisis comparativo aplicados al caso de Barcelona.* (UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA). Retrieved from http://upcommons.upc.edu/handle/2117/96302

Fonzo, J. (2016). *EL ACCESO SOLAR EN LA NORMATIVA CHILENA . Análisis comparativo de las normativas asociadas al acceso solar en Chile, una aproximación metodológica para el caso de la zona central del país*. Retrieved from https://www.aie.upc.edu/maema/wp-content/uploads/2018/05/201617_FonzoJavier.pdf

Franco, R. (2014). *Acceso solar: Estudio comparativo de acceso solar por el método descriptivo entre las ciudades: Jerusalén, Israel (31,8º Norte) y Bogotá, Colombia (4,5º Norte)*. 59. Retrieved from

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24081/RicardoFranco_TFM.pdf;acceso

Franco, R., & Bright, P. (2016). Acceso solar en la arquitectura y la ciudad. Aproximación histórica. *Revista de Arquitectura*, *Vi*, 95–106. https://doi.org/10.14718/revarq.2016.18.2.9

Franco Tutores, R., & Crespo Jaume Roset, I. (2014). *Acceso Solar: Estudio comparativo de acceso solar por el método descriptivo entre las ciudades: Jerusalén, Israel (31,8° Norte) y Bogotá, Colombia (4,5° Norte)*. Retrieved from https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24081/RicardoFranco_TFM.pdf

García, E. H., & García, F. (2012). Densificación con criterios de soleamiento. Un método gráfico para el cálculo de áreas adecuadas para nueva edificación en entornos construidos en el caso de Zabalgana en Vitoria-Gasteiz. In *Libro de Actas del Congreso Nacional del Medio Ambiente 2012*. Retrieved from http://oa.upm.es/20840/

Gis&Beers. (n.d.). Hillshade, mapas de laderas, MDE y ortofotos en 3D. Retrieved October 8, 2019, from http://www.gisandbeers.com/hillshade-mapas-de-laderas-mde-y-ortofotos-en-3d/

IDEAM. (n.d.). Atlas Interactivo - Radiación IDEAM. Retrieved October 9, 2019, from http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html

Inzulza Contardo, J., Wolff Cecchi, M., & Vargas Lara, K. (2017). Acceso solar: un derecho urbano para la calidad de vida vulnerado desde la gentrificación contemporánea. El caso de la comuna de Estación Central, Chile. *Revista 180*. Retrieved from http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/149636/Acceso-solar.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Jensen, R. E. (2017). *Generating Shadows for Urban Design* (University of Redlands Generating). Retrieved from https://inspire.redlands.edu/gis_gradproj/272

Kanters, J., & Horvat, M. (2012). Solar energy as a design parameter in urban

planning. *Energy Procedia*, *30*, 1143–1152. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.127

Lecea, D. (2010). *Tesina : Impacto Solar en la Escala Urbana . Master IDERA : Arquitectura y Medio Ambiente , Integración de las E nergías*. Retrieved from http://www.heliodon.net/downloads/Lecea_2010_Mt_Impacto_Solar_en_la_escala_Urbana.pdf

Mendoza Castañeda, F. A. (2015). *DETERMINACIÓN CON TECNOLOGÍAS S.I.G. DE LA RADIACIÓN SOLAR DE EDIFICIOS EN ZONAS URBANAS DE ÁVILA, ESPAÑA* (UNIVERSIDAD DE SALAMANCA – UNIVERSIDAD DE VALLADOLID). Retrieved from http://uvadoc.uva.es/handle/10324/13029

Miranda, F., Doraiswamy, H., Lage, M., Wilson, L., Hsieh, M., & Silva, C. T. (2019). Shadow accrual maps: Efficient accumulation of city-scale shadows over time. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, *25*(3), 1559–1574. https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2802945

Ninsawat, S., & Hossain, M. D. (2016). Identifying potential area and financial prospects of rooftop solar photovoltaics (PV). *Sustainability (Switzerland)*, *8*(10), 1–16. https://doi.org/10.3390/su8101068

Pastrana, E., & Sanchez, D. (2015). TRAYECTORIA SOLAR GUÍA PRÁCTICA PARA EL MANEJO DE LA CARTA SOLAR Y EL HELIODON. *AMBIENTALMENTE*, *1*, 1–36. Retrieved from http://www.unipiloto.edu.co/descargas/cartillaambientalmente1.pdf

Ratti, C., & Morello, E. (2009). Sunscapes : 'Solar envelopes' and the analysis of urban DEMs. *Computers, Environment and Urban Systems*, *33*(1), 26–34. Retrieved from http://senseable.mit.edu/papers/pdf/20051116_Ratti_Morello_SunscapesExtending_EnergyArchitecture.pdf

Salas, M., Quezada, P., Crespo, I., & Vélez, V. (2019). Morfología urbana y acceso solar : Estudio para la densificación en el centro histórico de la ciudad de Loja (Ecuador). *Revista Espacios*, *40*, 13. Retrieved from

http://www.revistaespacios.com/a19v40n04/a19v40n04p13.pdf

Secretaria Distrital de Planeacion. (2006). Unidad de Planeamiento zonal. Retrieved November 7, 2019, from http://www.sdp.gov.co/transparencia/informacion-interes/glosario/unidad-de-planeamiento-zonal

Secretaria Distrital de Planeacion. (2018). *Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C. Documento Técnico de Soporte II Contenidos Normativos*. Retrieved from http://www.sdp.gov.co/micrositios/pot/proyecto-de-acuerdo

SunEarthTools.com. (n.d.). Cálculo de la posición del sol en el cielo para cada lugar en cualquier momento. Retrieved October 10, 2019, from https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es