

Uso de imágenes aéreas para la determinación del porcentaje de sombrío en sistema agroforestal de café

Use of aerial images to determine the percentage of shade in coffee agroforestry system

ANAYA, María A.¹

SUAREZ, Luis F.²

VERA, Jose G.³

CAMPEROS, Freddy R.⁴

Resumen

Se determinó el porcentaje de sombrío mediante el desplazamiento de sombra con el uso de imágenes aéreas (Drone) sobre cafetales en sistema agroforestal, obteniendo valores entre 61,27% y el 81,88% para esta variable. El área de intersección de sombrío correspondió a 1507.25m², que representó la presencia de sombrío permanente del dosel arbóreo de los árboles dispersos. Se demostró la utilidad de estas nuevas tecnologías que se podrán aplicar en campo para la regulación de la sombra en este cultivo.

Palabras clave: Agroforestal, sombrío, café, ortofoto

Abstract

The percentage of shade was determined by means of the displacement of shade with the use of aerial images (Drone) on coffee plantations in the agroforestry system, obtaining values between 61.27% and 81.88% for this variable. The shade intersection area corresponded to 1507.25m², which represented the presence of permanent shading of the tree canopy of the scattered trees. With this study, the usefulness of these new technologies that can be applied in the field for the regulation of shade in this crop was demonstrated.

Key words: Agroforestry, shade, coffee, orthophoto

1. Introducción

En la producción del café en Colombia, así como en otros países productores existe la posibilidad de establecer este cultivo a libre exposición solar o bajo sombra mediante un sistema agroforestal, según las condiciones de clima y suelo del área del cultivo (Gutiérrez, et al., 2015)

¹ Instructora área de agricultura. Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero – CEDRUM. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA. manayam@sena.edu.co

² Instructor área de ambiental. Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero – CEDRUM. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA. lsuarezd@sena.edu.co

³ Ingeniero Forestal. Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero – CEDRUM. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA jveraj@sena.edu.co

⁴ Ingeniero de Sistemas. Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero – CEDRUM. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA. fcamperos@sena.edu.co

El Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) ha establecido que para el manejo de este cultivo en regiones donde las condiciones climáticas presentan temperaturas superiores a 22°C, precipitaciones inferiores a 1200mm, horas de sol superiores a 1800horas/año, baja nubosidad y periodos secos superiores a tres meses en el año, con porcentajes de sombrío entre el 25% - 45% en relación a 70 árboles por hectárea, favoreciendo la conservación del suelo y agua que influye directamente en el aumento de la producción e ingreso económico del caficultor (Farfán, 2017). Este mismo autor hace referencia a los aportes realizados por Cenicafé en función de sus recomendaciones sobre las diferentes formas de establecer árboles en cultivos de café como sistema agroforestal; por ejemplo, la implementación de árboles de sombrío permanente, árboles de sombrío productivo, árboles dispersos en el cultivo, barreras vivas con árboles, cortinas rompevientos, linderos con árboles, cercos vivos, entre otros. Algunas experiencias exitosas han sido el uso del nogal cafetero, cedro, guamo santafereño, ceiba, guayacán amarillo, pino, entre otros, según el sistema agroforestal implementado. (Farfán, et al., 2016).

En la actualidad la medición de la sombra en sistemas agroforestales se realiza con diferentes métodos (aplicativos e instrumentos) entre los que se encuentran SunScan Canopy Analysis System (SCAS), Gap Light Analyzer (GLA), Gap Light Analyzer Mobile App (GLAMA), Habitapp, Densiómetro Esférico (DE), Densiómetro Cúbico (DC), Densiómetro de punto (DP), Plantilla Visual de Sombras (PVS) (Farfán, et al., 2016). Todos estos métodos requieren que el personal involucrado en la medición del sombrío se desplace por medio del cultivo en trayectorias ya establecidas por Cenicafé en la publicación de (Farfán, 2015), dependiendo de la extensión total del lote en estudio.

La aplicabilidad del uso de aeronaves remotamente tripuladas (ART; UAV en sus siglas del inglés) en cultivos agrícolas ha sido objeto de estudio en diversas investigaciones como se puede observar en Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation, (2016); Dimosthenis, et al., (2016) y Berrio, et al., (2015). Una de las aplicaciones de las ART en el sector agrícola es la captura de imágenes aéreas de alta resolución espacial (Dimosthenis, et al., 2016). En el cultivo del café el uso de imágenes aéreas de alta resolución espacial permite abarcar áreas de estudio más grande, la captura de mayor información en menor tiempo y un grado más alto de precisión (Garzón y Luque, 2018); (da Cunha et al., 2019).

Teniendo en cuenta las condiciones económicas y la disponibilidad de equipos para la medición de la sombra en cultivos de café, se hace necesario la aplicación de un método de estimación visual de sombra que facilite al productor la obtención de datos que le proporcionen la toma de decisiones para el manejo del sombrío en el cultivo (Somarriba, 2002).

Mediante una investigación de tipo exploratoria descriptiva y utilizando un ART dotado con un sensor óptico RGB, se realizaron vuelos sobre un lote de estudio de un cultivo de café, con la finalidad de capturar imágenes que permitieron analizar la cantidad de sombra proyectada por los árboles asociados a este cultivo en diferentes horas del día. El objetivo planteado en el presente artículo es validar la medición de coberturas a partir de imágenes de alta resolución espacial, que permitan determinar el área de influencia del sombrío en cultivos de café establecidos en un sistema agroforestal.

2. Metodología

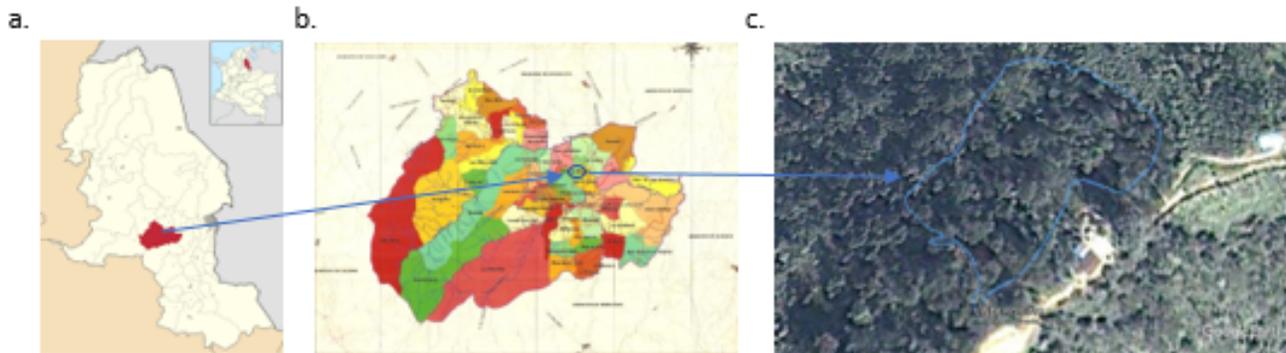
2.1. Área de estudio

Las tareas de campo en este estudio se ejecutaron en la finca La Italia, vereda Alto de Ángulo, municipio de Salazar de Las Palmas en el departamento de Norte de Santander (Figura 1). Municipio ubicado en la región central del Departamento, a 850 m.s.n.m., se caracteriza por tener una población de 10728 habitantes,

distribuidos en 480 km², y cuyas condiciones ambientales se caracterizan por presentar temperatura promedio de 22,9 °C y precipitaciones aproximadas de 2901 mm (DANE, 2020) (CLIMATE-DATA-ORG, 2018)

Figura 1

Ubicación geográfica de la vereda Alto de Ángulo, Municipio de Salazar de las Palmas, Departamento de Norte de Santander.



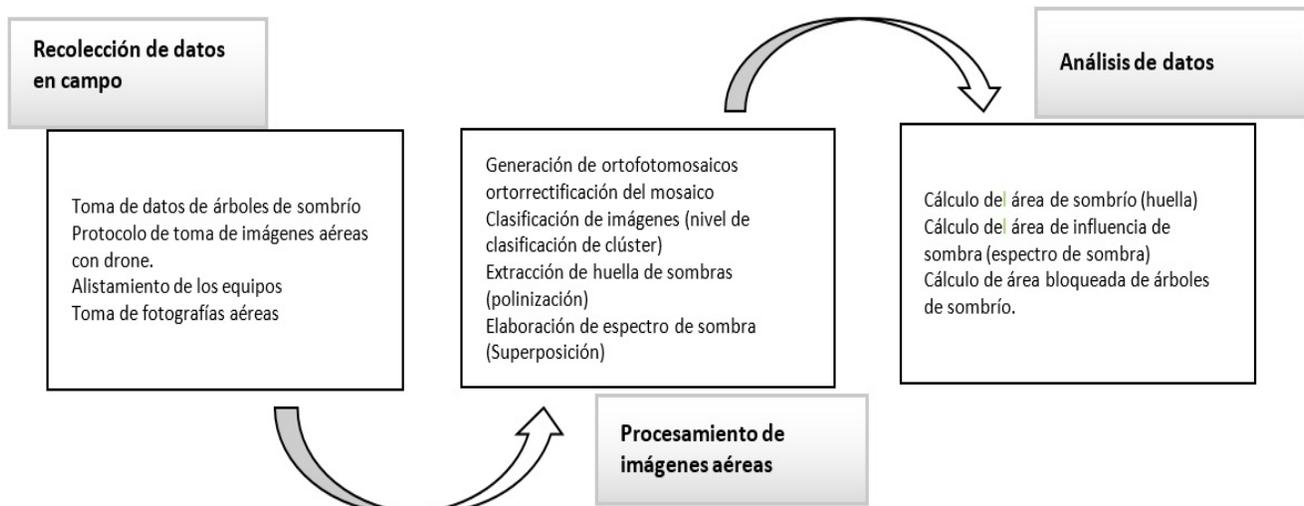
Fuente: (Wikipedia, s/f) (Salazar de Las Palmas, s/f) (Google Earth, 2020)

El cultivo de café establecido en el lote 04 de la finca La Italia es de la variedad Castillo con una edad de 9 años (coordenada E1131220 N1355902), a 1399 msnm. Se encuentra sembrado en un sistema agroforestal con árboles dispersos en el cultivo (predominando los guamos, cítricos y cedros), en un lote de 0.81 hectáreas, con distancias de siembra de 1,2 metros entre plantas y 1,4 metros entre surcos para obtener una densidad de 4821 árboles de café.

Para el desarrollo del trabajo, se siguió la metodología propuesta por el SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje) siguiendo los lineamientos de autores Zafra, (2014), Villa, (2006), Achicanoy et al., (2018), Monterroso, (s.f.), Ambrosio et al., (2006), Somarriba, (2002), (Figura 2).

Figura 2

Metodología de trabajo usada en la investigación.



Fuente: Elaboración propia

2.2. Recolección de datos de campo

2.2.1. Toma de datos de árboles de sombrero

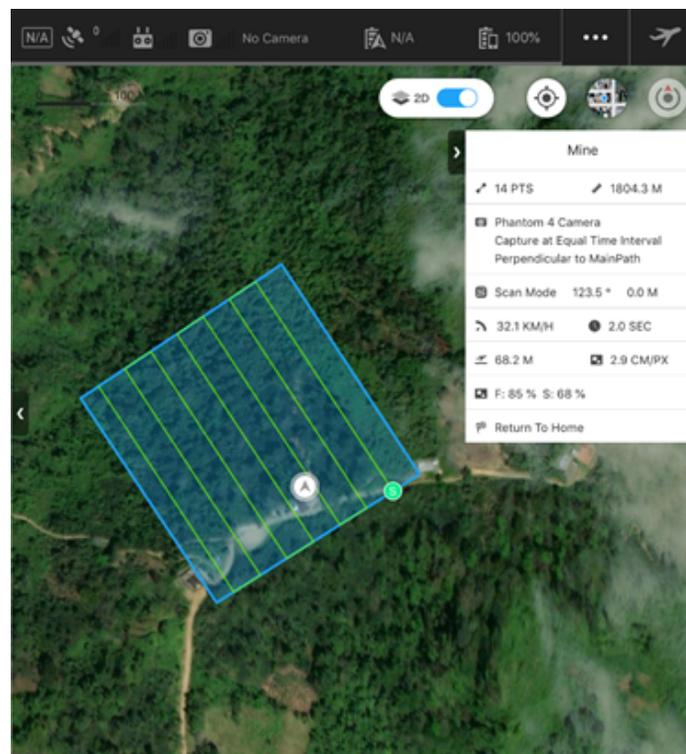
Dentro del cultivo de café se realizó un inventario forestal al 100% de las unidades arbóreas asociadas como sombra, las cuales están distribuidas heterogéneamente en el cultivo. Para el desarrollo del inventario forestal se tuvieron en cuenta las siguientes variables: nombre común, circunferencia a la altura del pecho (CAP), altura total, altura comercial y diámetro de copa.

2.2.2. Protocolo de toma de imágenes aéreas con dron

Con el propósito de disminuir los errores en los sobrevuelos y aumentar la calidad en la generación del ortofotomosaico, el equipo investigador contó con el apoyo técnico de la empresa MAQMA S.A.S. Para la toma de las imágenes aéreas se tuvo en cuenta que no existiera nubosidad en el momento de la captura de las fotos y así asegurar que el sol proyectara la sombra sobre en el área de estudio. Los equipos que se emplearon para la toma de imágenes fueron el ART DJI Phantom 4 pro que cuenta con un sensor CMOS de 1 pulgada y 20 megapíxeles, iPad mini 3 para configurar el plan de vuelo con el software DJI GS pro y GPS submétrico de mano con el cual se tomaron 3 puntos de referencia del lote del estudio, punto 1 (X 1139793 Y 1356017 Z 1337,194), punto 2 (X 1139718,5 Y 1355843 Z 1408,934), punto 3 (X 1139786,4 Y 1355907 Z 1404,488).

La toma de las imágenes se realizó el día 20 de octubre del 2019 en cinco horas diferentes del mismo día: 09:30, 11:00, 12:00, 14:00 y 15:30 horas. Se configuró el dron DJI Phantom 4, con un plan de vuelo a 1804.3m² teniendo en cuenta el cubrimiento total del área de estudio a 50m de altura sobre el nivel del suelo, a una velocidad de 32.1 km/h, con toma de imágenes cada 2 segundos. La resolución que se utilizó fue de 2.9 cm/píxel, con 85% de frontal y 68% de solape en el trayecto del vuelo (Figura 3).

Figura 3
Plan de vuelo en área de estudio.



Fuente: Elaboración propia

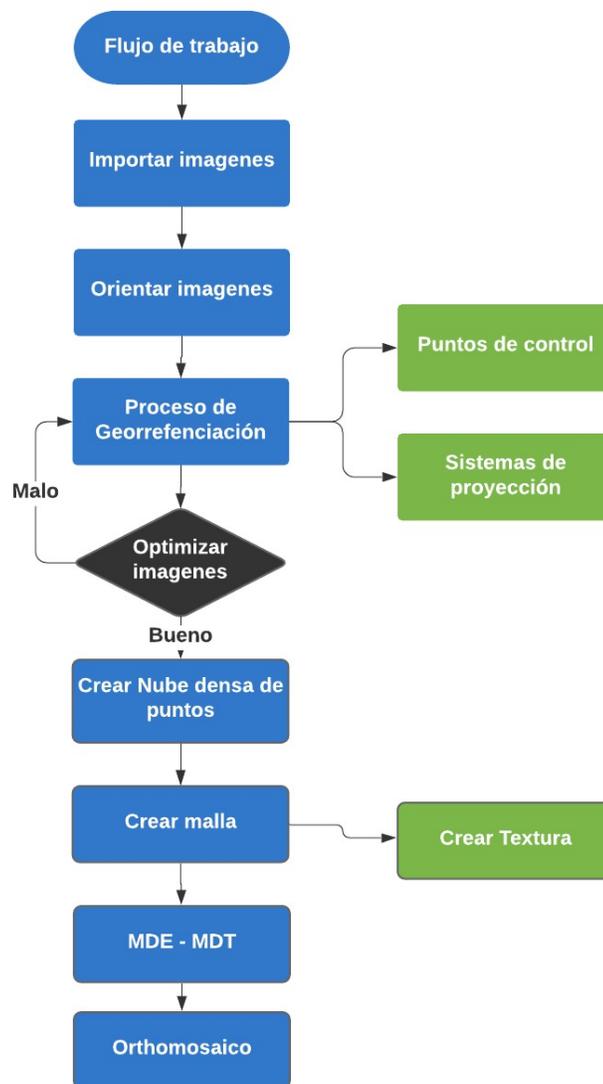
2.3. Procesamiento de imágenes aéreas

2.3.1. Toma de datos de árboles de sombrío

Se trabajó con el software Agisoft Photoscan versión 1.5.3 para la elaboración del ortofotomosaico a partir de las fotografías tomadas con drone en el área de estudio, siguiendo las indicaciones del flujo de trabajo (Figura 4).

El software empleado para la generación de los cinco ortofotomosaicos del área de estudio fué el 1.5.3 build 8407 Windows 64 y con el sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogotá zone (EPSG::3116), considerando un error de reproyección máximo 5.66156 (32.1183 pix) en la nube de puntos, con errores medios de las posiciones de cámaras (X - Este, Y - Norte, Z – Altitud), definiéndose así: error en X (0.5 m), error en Y (0.5 m), error en Z (0.5 m), error en XY (0.5 m) y error combinado (0.5 m).

Figura 4
Postproceso Software Agisoft Photoscan.



Fuente: Zafra Granados, (2014)

2.3.2. Ortorrectificación del mosaico

Una vez obtenidos los ortomosaicos se procedió a la corrección geométrica final de las imágenes (valores residuales de la precorrección realizada en el proceso de generación de ortomosaico), para ello mediante el uso de ArcMap se realizó el ajuste de una serie de puntos de control georeferenciados y materializados en campo con los de la imagen, para corregir las deformaciones obtenidas durante la estructuración del mismo; a partir de aquí se obtuvo una nueva imagen que conservó los valores radiométricos de la original, pero con las adaptaciones a las condiciones reales, por medio del software el SRC Magna Colombia Bogotá y el Datum WGS84, (Villa, 2006).

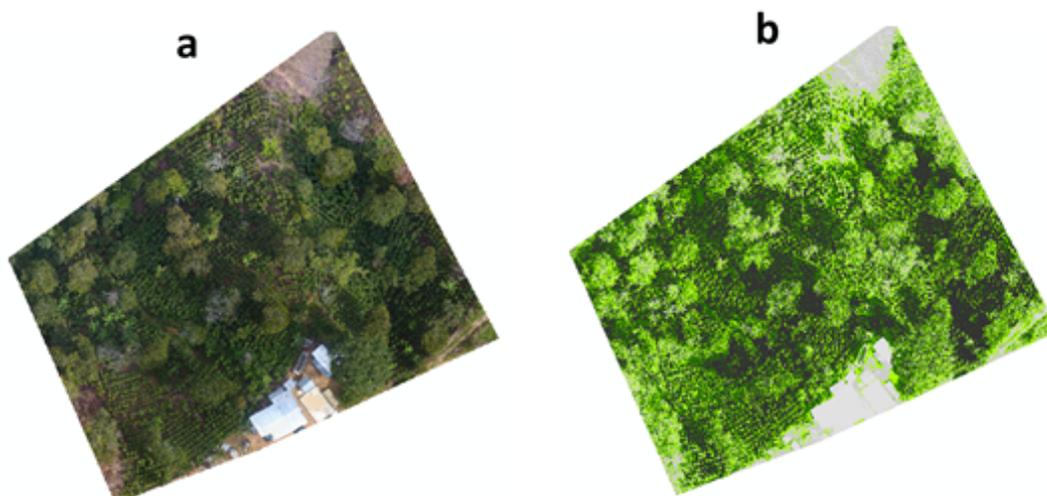
2.3.3. Clasificación de imágenes

Por medio del uso de software ARCMAP se realizó la interpretación para cada uno de los ortomosaicos en los cinco periodos de tiempo, para los cuales se identificó que la variable a estudiar (sombra) pudiese observarse de manera clara.

Se determinó que dado a la calidad de las imágenes y a la fácil interpretación de los fenómenos geográficos, representados en color natural del modelo digital RGB (rojo, verde, azul), permitiera un análisis de las sombras que presentaron influencia sobre el cultivo de café. Para el proceso de clasificación de objetos de la imagen se analizaron las coberturas correspondientes con algunas de las categorías generales de la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010): cubierta forestal, cultivo permanente, zonas improductivas (sin vegetación y construidas). Para el tratamiento de color se optó por el uso de los productos obtenidos del pre-procesamiento del Ortomosaico, toda vez que se generaron con altos niveles de detalle y baja probabilidad de generación de errores en la confección de la malla.

A partir del uso de herramientas de análisis espacial (Spatial Analyst Tools) del software ArcMap se realizó la segmentación automática de imágenes (Achicanoy et al., 2018) en cinco clases mediante la implementación de la metodología de Clasificación No Supervisada (Monterroso, s/f) (dado a la homogeneidad de las coberturas en el área de estudio y por la facilidad de análisis con respecto a otros tipos de clasificación e interpretación de imágenes); se aplicó el método de clustering (agrupamiento) en el cual se seleccionaron los elementos más relevantes de la imagen en cinco (5) clases "isoclusters" (Figura 5) así: sombra, cubierta forestal, cultivo permanente, zonas improductivas sin vegetación y zonas improductivas construidas, generándose un agrupamiento automático por valores homogéneos a partir de la clasificación.

Figura 5
Clasificación de imágenes. a. Imagen a partir del ortomosaico. b. Imagen procesada con los "Isocluster"



Fuente: Elaboración propia

2.3.4. Extracción de huella de sombras

Previo a la extracción de la huella de sombra, basados en el estudio y comportamiento de las sombras, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Que mediante los métodos de análisis basados en imágenes no es posible generar una extracción automática del polígono de la cobertura “sombra” (clase principal de análisis para el proyecto) del ortomosaico, debido a que el clúster obtenido no diferencia las sombras proyectadas por el dosel arbóreo de las generadas por otros objetos (incluidas las del propio cultivo) (
- **Figura 6).**
- Que por tratarse de una imagen aérea solo se puede apreciar la sombra proyectada y no se tiene en cuenta la sombra generada por el objeto y su correspondiente desplazamiento debido al ángulo de entrada de luz por debajo del mismo (en este caso la umbra y penumbra generada por el dosel arbóreo).
- Que en el ortomosaico dentro del área de estudio se cuenta con elementos de control corregidos que permiten realizar un modelamiento del desplazamiento y efecto de las sombras que no es posible visualizar de manera directa.

Para obtención de la huella de sombra para cada ortomosaico se aplicó el siguiente procedimiento:

- 1) Se realizó en software ArcMap una poligonización manual de la cobertura “sombra” basado en el contorno generado por la sombra proyectada por el dosel arbóreo.
- 2) Con base en el diámetro de copa obtenido en campo para cada uno de los árboles se modeló geoméricamente la sombra interceptada por el dosel arbóreo y se proyectó de acuerdo al desplazamiento generado en el “objeto control” que se encuentra dentro del área de estudio. Una vez obtenidas las copas de los árboles modeladas como circunferencias, se validaron los desplazamientos con ayuda de la APP Sun Locator. Al completar la imagen superficial del elemento dio como resultado la posición de la sombra bajo la cobertura arbórea para la imagen en una hora determinada.
- 3) Mediante uso de software ArcMap se ensambló las sombras obtenidas en los pasos anteriores generando un único polígono, al cual se le asignaron atributos geométricos de área y perímetro que permitieron posteriores análisis comparativos.

2.3.5. Elaboración de espectro de sombras

Se generó el espectro al superponer las huellas de sombra capturadas en cada momento del día evaluado y agrupándolas en una sola imagen con el fin de obtener el área influenciada por la sombra (Figura 6). Se consideraron dos elementos, el primero que las áreas oscuras (umbra y penumbra) han tenido influencia de sombra durante todo el período y el segundo, que las áreas claras (sombras proyectadas por el objeto) fueron monitoreadas por intervalos de tiempo (Ambrosio et al., 2006).

3. Resultados

3.1. Extracción de huella de sombras

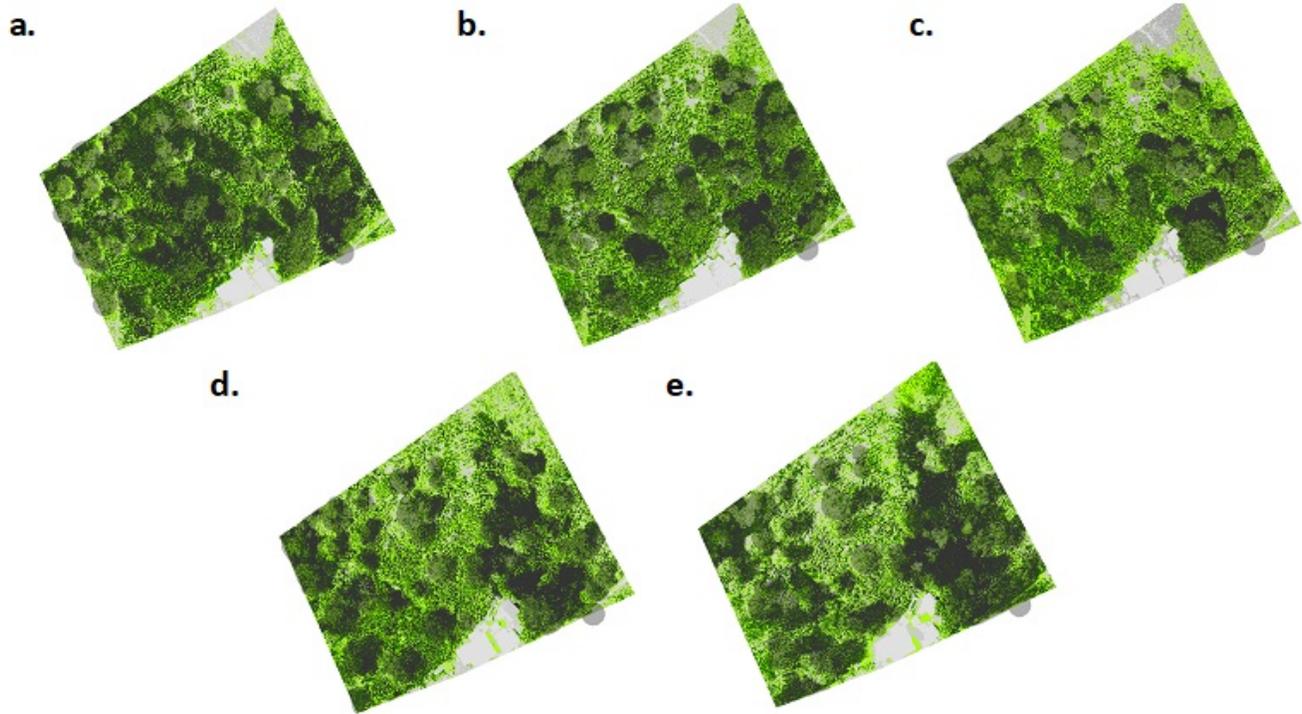
Se realizó el cálculo de área de sombrío (huella de sombra) a través de la aplicación ArcMap, para cada una de las horas de toma, correspondiente a la proyección de la sombra que está recibiendo el cultivo durante esa hora específica, así, para cada hora fue (

Figura 6): a. 09:30 am, 6633 m², b. 11:00 am, 5412 m², c. 12:00 m, 4963 m², d. 02:00 pm, 5425 m² y e. 03:30 pm, 6467 m², en donde se obtuvo valores entre el 61,27% y el 81,88% de la sombra que proyecta la cobertura existente sobre el cultivo de café.

Figura 6

Huella de sombra sobre el área de estudio.

- a. Poligonización sobre el cluster a las 9:30am
- b. Poligonización sobre el cluster a las 11:00am
- c. Poligonización sobre el cluster a las 12:00pm
- d. Poligonización sobre el cluster a a las 2:00pm
- e. Poligonización sobre el cluster a las 3:30pm



Fuente: Elaboración propia

3.2. Elaboración de espectro de sombras

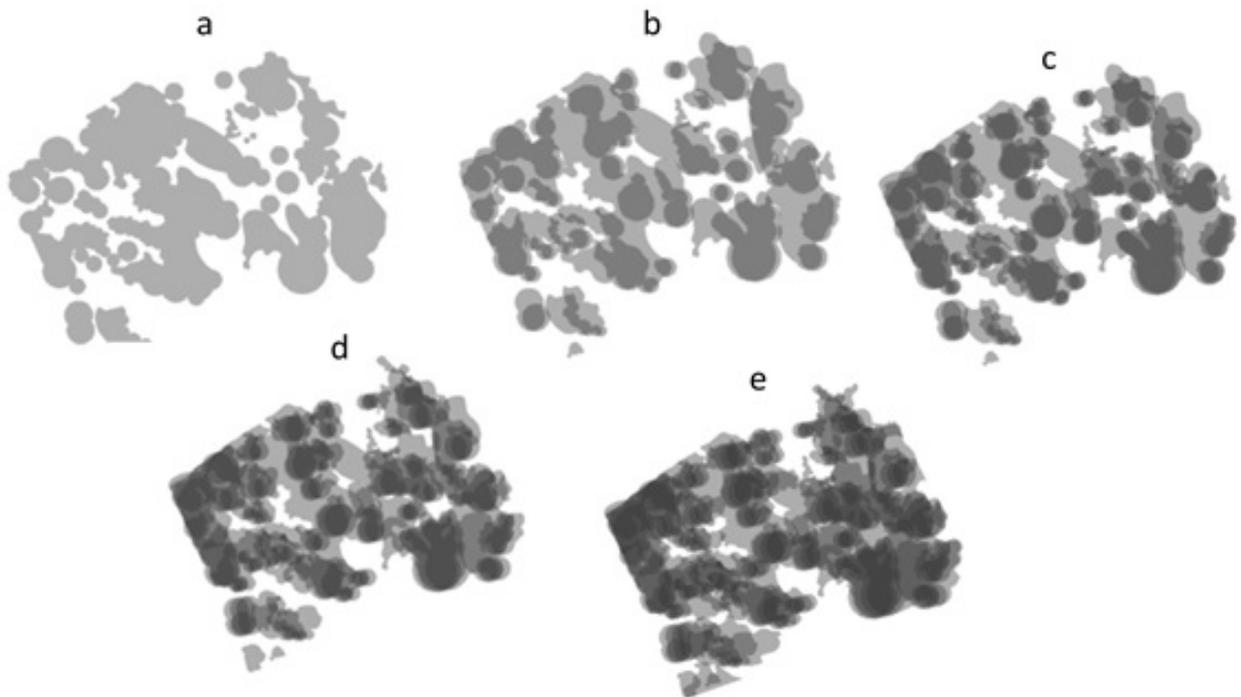
En cuánto al espectro de sombra (.

Figura 7) se puede observar que el resultado de superponer las huellas de sombra durante el lapso de tiempo evaluado, generó un área homogénea de sombra producto de la cobertura arbórea del área de interés de 6633 m² (Figura 8).

Figura 7

Evolución del espectro de sombra durante el período evaluado.

- a: Huella de sombra imagen a.
- b: Superposición entre imagen a + b.
- c: Superposición entre imagen a + b + c.
- d: Superposición entre imagen a + b + c + d.
- e: Superposición entre imagen a + b + c + d + e.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8
Área total de influencia del espectro
de sombra en la zona de estudio

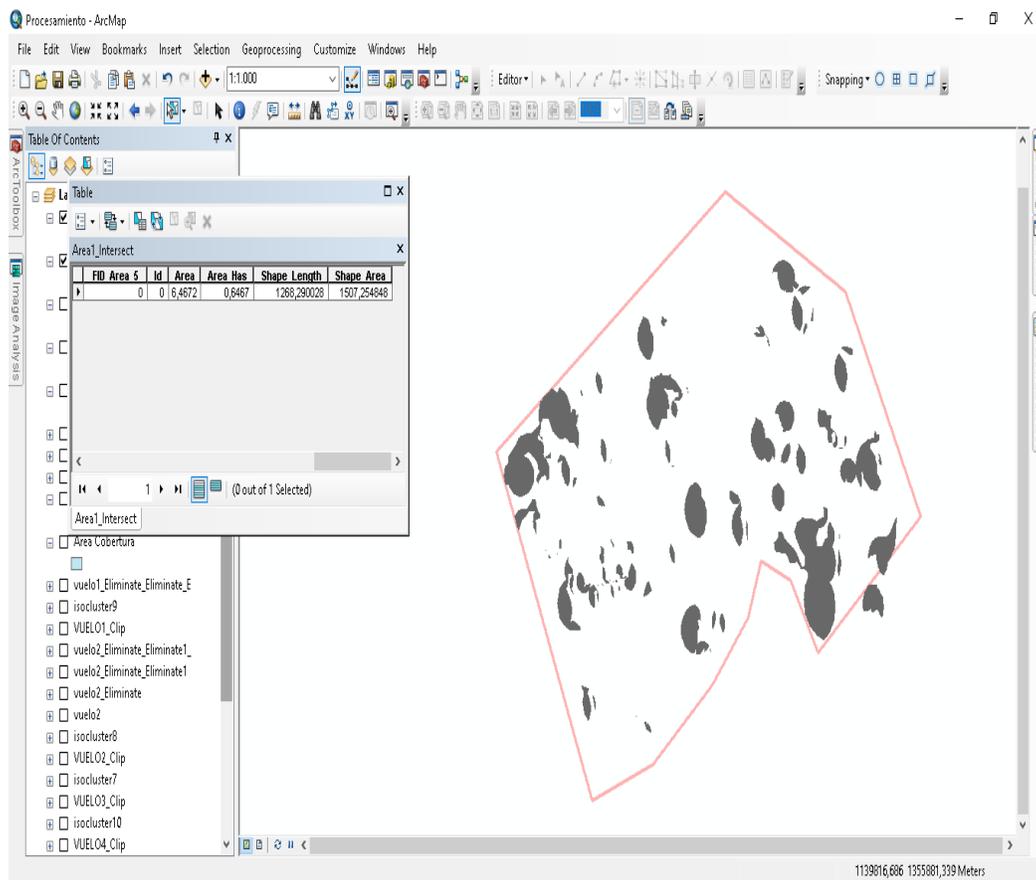


Fuente: Elaboración propia

3.3. Área de intersección de sombrío

Partiendo de las imágenes recolectadas, siguiendo la metodología de clasificación no supervisada (Monterroso, s/f) y considerando el modelamiento de huellas de sombra y espectros, se obtuvo un área de intersección de sombrío de 1507,25 m², este valor representó la exposición de sombrío permanente del dosel arbóreo sobre el área de estudio, es decir, el área que recibe sombra permanente durante todo el día (Figura 9). De esta forma quedó demostrada la utilidad de usar los drones como herramienta de cálculo de la sombra en los cultivos de café, además esta información servirá como punto de partida para la toma de decisiones por parte del caficultor, en cuanto a manejo de sombrío, de acuerdo a las condiciones climáticas de la zona.

Figura 9
Área expuesta a sombrío permanente
del dosel arbóreo en la finca La Italia.



Fuente: Elaboración propia

(da Cunha, et al., 2019), señalan que la metodología de usar vehículos aéreos no tripulados (UAV) (drones) se ha convertido en una herramienta que permite evaluar áreas de mayor superficie con mayor facilidad y precisión, pero al comparar los resultados obtenidos al usar imágenes aéreas y los métodos tradicionales, no han encontrado diferencias significativas. Por su parte Burkart et al. (2018) han concluido que las imágenes aéreas recopiladas por UAV se pueden utilizar para proporcionar datos cuantitativos en el manejo de cultivos y la agricultura de precisión. Burgos et al., (2015) también obtuvieron resultados similares utilizando la tecnología UAV basada en imágenes para la detección de la altura de cobertura del cultivo de la uva.

Según el INIFAP, (2013) el manejo del sombrero es muy importante para el óptimo crecimiento de las plantas de café, ya que la luz debe infiltrar de la manera correcta, el movimiento del aire debe ser el adecuado, se puede incrementar la cantidad de materia orgánica en el suelo, reducir la erosión y nivelar los problemas fitosanitarios, por ello es muy importante monitorear constantemente las coberturas superiores, con el fin de controlar el exceso de sombra.

En las zonas cafeteras de Colombia bajo sistemas agroforestales, las especies más utilizadas por los grandes usos y beneficios que genera a la plantación del café son *Erythrina L.* (Ceibo o Bucare), *Inga edulis* (Guamo) y *Cordia alliodora* (Laurel blanco), coincidiendo con lo encontrado en esta investigación, donde el guamo fue la especie más abundante, (Farfán, 2014).

3.4. Análisis de los datos de árboles de sombrero

El resultado del inventario forestal realizado en la finca la Italia se presenta en la Tabla 1, considerando las variables: Circunferencia a la altura del pecho CAP, diámetro a la altura del pecho DAP, Altura total HT, Altura

comercial HC, área basal AB, volumen total VT, volumen comercial VC, área de copa AC, dominancia absoluta y dominancia relativa, en la misma donde la especie Guamo presentó una dominancia absoluta con 43 individuos, seguido de los cítricos con 7 individuos y la asociación de estas especies con otras. Todas estas especies generaron un sombrío homogéneo.

Tabla 1
Inventario forestal realizado en el lote de estudio de la finca la Italia. Octubre 2019.

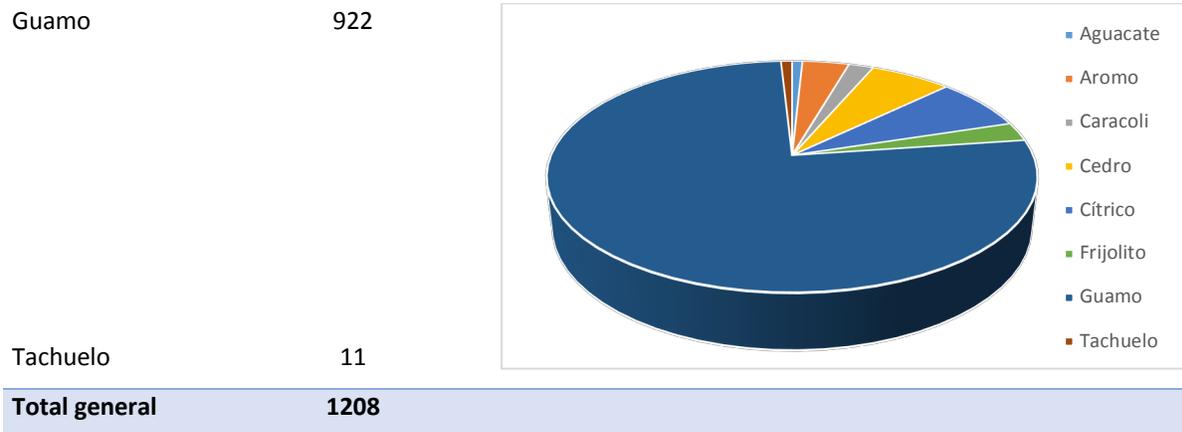
ESPECIES	CAP PROMEDIO CMS	HT PROMEDIO METROS	HC PROMEDIO METROS	DC PROMEDIO METROS	DAP PROMEDIO METROS	AREA BASAL M ²	VOL TOTAL M ³	VOL COMERCIA M ³ L	AREA COPA M ²	DOMINANCIA ABSOLUTA	DOMINANCIA RELATIVA %
Aguacate	61	5	7	5	0,19	0,03	0,09	0,12	20	1	2
Aromo	82	10	6	8	0,26	0,11	0,63	0,41	89	2	3
Caracoli	82	12	9	6	0,26	0,11	0,76	0,57	63	2	3
Cedro	111	14	5	7	0,35	0,66	6,79	3,61	202	4	7
Cítrico	84	9	4	6	0,27	0,43	2,75	1,22	236	7	11
Frijolito	84	12	4	9	0,27	0,06	0,40	0,13	64	1	2
Guamo	90	11	6	7	0,29	3,09	22,26	11,81	1867	43	70
Tachuelo	72	12	8	6	0,23	0,04	0,30	0,20	28	1	2
Total general	89	11	6	7	0,28	4,52	33,98	18,08	2568	61	100

Fuente: Elaboración propia

Tomando como base el diámetro promedio de copa por árbol, se calculó el total del área de copa para los árboles existentes dentro del arreglo agroforestal, dando como resultado un valor de 2567,67 m². Según lo descrito por Somarriba, (2002) para la estimación visual de sombra en cafetales, se aplicó el procedimiento allí descrito para el cálculo del área bloqueada o porcentaje de oclusión (Tabla 2). El porcentaje de sombra que recibe un cultivo se estima con base en la oclusión, el diámetro de copa y la densidad poblacional de las plantas del dosel de sombra, que para este caso fue de 1208m². Partiendo del área total del cultivo que equivale a 8100m² y el área ocluida de 1208m², el porcentaje de sombra del cultivo fue de 14.9%.

Tabla 2
Área bloqueada por especie forestal de sombrío.

Especie	Área bloqueada m ²
Aguacate	10
Aromo	44
Caracoli	24
Cedro	77
Cítrico	88
Frijolito	32



Fuente: Elaboración propia

Al comparar el área de intersección de sombrío obtenido mediante el uso de imágenes aéreas que correspondió a 1507,25m² con el área de sombra u oclusión de copa calculado a partir del inventario forestal cuyo valor fue de 1208m², se corroboró que los valores están ajustados a la realidad con solo una diferencia del 4% en área de sombra; esto permitió dar confiabilidad al uso de los dos sistemas pudiéndose recomendar su uso para las revisiones en campo de acuerdo a la disponibilidad de recursos por parte de los productores.

Una vez realizado el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos mediante la metodología planteada a partir de las imágenes aéreas, se considera necesario para futuras investigaciones usar datos *in situ* para obtener mayor información que pueda ser validada desde la fotografía aérea, en cuanto a radiación, porcentaje de oclusión del dosel, entrada de los GAPS, entre otros, que permitan validar la información que se obtenga mediante la utilización de estas nuevas tecnologías SIG en cultivo de café.

4. Conclusiones

Se validó la medición de coberturas a partir de imágenes aéreas con dron a 50 m a nivel del suelo, que permitieron la determinación de la estimación de sombrío sobre un cultivo de café mediante el cálculo del desplazamiento de sombra en un día, la cual varió entre el 61,27% y el 81,88%, adicionalmente se pudo obtener el área de intersección de sombrío que correspondió a 1507.25m² que representa un 18.6% de la presencia de sombrío permanente del dosel arbóreo sobre el sistema agroforestal, datos que servirán para la toma de decisiones por parte del caficultor en cuanto a regulación de sombrío de condiciones climáticas de la zona.

Se presentó una metodología innovadora basada en la aplicación de herramientas y tecnologías de información geográfica en la caficultura, que permitió evaluar grandes extensiones de cultivo en corto período de tiempo.

Dentro de las principales limitantes encontradas, se observó que la calidad de las imágenes aéreas depende de las condiciones climáticas, los equipos para obtenerlas tienen costos elevados y se requiere de personal capacitado que permita el procesamiento y el análisis de las mismas.

También se comprobó la aplicabilidad del uso de drones para detectar mediante imágenes aéreas el porcentaje de sombrío en cultivo de café; se hace necesario probar otros métodos de detección de imágenes con equipos de alta resolución para ajustar las metodologías y minimizar errores al momento del análisis y resultados. Es necesario realizar paralelamente estudios comparativos de las mediciones con métodos tradicionales y estas nuevas herramientas basadas en el uso de drones, para validar la factibilidad y aplicación en campo por parte de nuestros caficultores.

Referencias bibliográficas

- Achicanoy, J. A., Rojas-Robles, R., y Sánchez, J. E. (2018). Análisis y proyección de las coberturas vegetales mediante el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica en la localidad de Suba, Bogotá-Colombia, v. 21 (1): 41-58.
- Ambrosio, G., Arevalo, V., y González, J. (2006). Detección de sombras en imágenes de satélite de alta resolución Quickbird. *DECASAT S.L.*, 29(7). doi:10.1.1.222.4049
- Burgos, S., Noll, D., Mota, M., y Cannelle, B. (2015). Research Gate. doi:10.5194/isprsarchives-XL-3-W3-399-2015
- Burkart, A., Vera Lisa, H., Thorsten, K., y Uwe, R. (2017). Phenological analysis of unmanned aerial vehicle based time series of barley imagery with high temporal resolution. *Precision Agriculture*, 19, 134-146. doi:10.1007/s11119-017-9504
- Berrio, V. A., Mosquera, J. y Alzate, D. F. (2015). Uso de drones para el análisis de imágenes multiespectrales en agricultura de precisión. *@LIMENTECH CIENCIA Y TECNOLOGÍA ALIMENTARIA*, 13(1). Recuperado de: http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/1647/830
- CLIMATE-DATA-ORG. (2018). *CLIMATE-DATA-ORG*. Recuperado de: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/norte-de-santander/salazar-47733/>
- da Cunha, J. A., Sirqueira N. M. y Hurtado, S. M. (2019). Estimating vegetation volume of coffee crops using images from unmanned aerial vehicles. *Engenharia Agrícola*, 39. Doi: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39nep41-47/2019>
- DANE. (2020). Información para todos. Censo nacional de población y vivienda. Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Dimosthenis, C., Stamatia, B., y Panagiotis, G. (2016). A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture. *ICT Update* 82. Recuperado de: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/89779>
- Farfán, V. F. (2014). Mantenimiento del componente arbóreo en Sistemas Agroforestales con café. *Avances Técnicos CENICAFÉ*(440). Recuperado de: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/486/1/avt0440.pdf>
- Farfán, V. (2015). Instrumentos para estimar el porcentaje de sombra en el cafetal. *Boletín Técnico Cenicafé*, 39. Recuperado de: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/591/1/039.pdf>
- Farfán, F. (2017). Sistemas de producción con café a libre exposición solar o en sistemas agroforestales. Condiciones para su establecimiento. *Cenicafe*, 485. Recuperado de: <https://www.cenicafe.org/es/publications/AVT0485.pdf>
- Farfán, V. F., Bermúdez, F. L. y González, F. N. (2016). Evaluación de herramientas para valorar el porcentaje de sombra en sistemas agroforestales con café. *Cenicafé*, 472. Recuperado de: <https://www.cenicafe.org/es/publications/AVT0472.pdf>
- Garzón, J. y Luque, F. (2018). Implementación de drones para incrementar la productividad en el agro colombiano. *Repositorio CESA*. Recuperado de: <https://repository.cesa.edu.co/handle/10726/2302>
- Google Earth. (s.f.). Perímetro del área de estudio. Recuperado el 10 de 03 de 2020

- Gutiérrez, R. Y., Lozano, T. H. y Jiménez, C. D. (2015). Ventajas y desventajas de cultivos de *Coffea arabica* L. y *Theobroma cacao* L. bajo sistemas. *Ingenierías & Amazonia*, 8(1). Recuperado de: <http://www.udla.edu.co/revistas/index.php/ingenierias-y-amazonia/article/view/1095/1352>
- IDEAM, 2010. Metodología Corine Land Cover. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) (2013). Paquete tecnológico para el cultivo de cacao. Recuperado de: <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Paquetes2012/81.pdf>
- Monterroso, T. (s.f.). Guía práctica: Clasificación de imágenes satelitales. Recuperado de: <http://arcgeek.com/descargas/ClasImMF.pdf>
- Salazar de Las Palmas. (s.f.). Recuperado de: https://salazarnortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/salazarnortedesantander/content/files/00041/2036_geografia_1024x600.jpeg
- Somarriba, E. (2002). Estimación visual de la sombra en cacaotales y cafetales. *Agroforesteria en las Américas*, 9 (35-36): 86-94 Recuperado de: http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6237/Estimacion_visual_de_la_sombra.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation. (04 de 2016). *CGSpace*. Recuperado el 02 de 12 de 2019, de <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/89779>
- Villa, A. (2006). *Teledeteccion, nociones y aplicaciones*. (C. Pérez Gutierrez, & A. L. Muñoz Nieto, Edits.)
- Wikipedia. (s.f.). wikipedia. Salazar de Las Palmas, Colombia. Recuperado de: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/ad/Colombia_-_Norte_de_Santander_-_Salazar_de_Las_Palmas.svg/375px-Colombia_-_Norte_de_Santander_-_Salazar_de_Las_Palmas.svg.png
- Zafra G. Y. (2014). *Repositorio Universidad Distrital*. Recuperado de: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/14055/2/ZafraGranadosYesidRomairoAnexo-1.pdf>

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoCommercial 4.0 International

