	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10 PAGINA: 1 de 39

16-


FECHA	Lunes, 03 de Mayo de 2021
--------------	---------------------------

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Facatativá

UNIDAD REGIONAL	Extensión Facatativá
TIPO DE DOCUMENTO	Trabajo De Grado
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
DEVIA CARRILLO	DIEGO ALEJANDRO	1.016.107.701
FRANCO MONTOYA	MABEL ANDREA	1.070.978.424

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10 PAGINA: 2 de 39

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
MENDOZA RINCÓN	ROLANDO

TÍTULO DEL DOCUMENTO
EVALUACIÓN DE CAMBIOS DE COBERTURA CON CLASIFICACIÓN SUPERVISADA EN LA SABANA DE OCCIDENTE PARA LOS AÑOS 2015 – 2020.

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)


TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
INGENIERO AMBIENTAL

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
13/11/2020	29 pág.

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1. Cobertura	Coverage
2. Clasificación	Classification
3. Suelo	Soils
4. Sensores Remotos	Remote Sensing
5. Algoritmo	Algorithm
6. Mapas	Maps

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10 PAGINA: 3 de 39

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS
(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):


El objetivo principal del presente proyecto es evaluar los cambios de cobertura de la Sabana de Occidente en los años 2015 y 2020, Para lograr un estudio adecuado de la cobertura vegetal y del uso del suelo, una de las herramientas de uso actual es la implementación de sensores remotos. Dado que el volumen de información que proveen los sensores es elevado, se requiere el uso de algoritmos especiales para analizar y llegar a conclusiones acertadas y acordes con la realidad del área de estudio.

Para el desarrollo del proyecto, se llevó a cabo la comparación de dos algoritmos de clasificación supervisada que fueron aplicados en la Sabana de Occidente (Facatativá, El Rosal, Madrid, Mosquera, Funza, Subachoque, Zipacón, Bojacá) en un periodo de tiempo de 5 años para observar el cambio de cobertura que han tenido estos municipios, estos fueron Random Forest y los Árboles de Clasificación de Regresión (CART). El uso de las diferentes herramientas y algoritmos permitió identificar a través de los cálculos realizados que el algoritmo Random Forest funcionó y presentó una mejor precisión para la clasificación supervisada no solo por los datos obtenidos, también se pudo demostrar estadísticamente a través de la prueba t que RF tuvo un porcentaje más alto que el algoritmo CART para la identificación de las coberturas anteriormente nombradas.

ABSTRACT

The main objective of this project is to evaluate the changes in the coverage of the Sabana de Occidente during the years 2015 and 2020. To achieve an adequate study of the vegetation cover and land use, one of the tools in current use is the implementation of remote sensing. Given that the volume of information provided by the sensors is high, the use of special algorithms is required to analyze and reach correct conclusions in accordance with the reality of the study area.

For the development of the project, a comparison of two supervised classification algorithms that were applied in the Sabana de Occidente (Facatativá, El Rosal, Madrid, Mosquera, Funza, Subachoque, Zipacón, Bojacá) was carried out during a 5 years period to observe the change in coverage that these municipalities have had, these were Random Forest and the Regression Classification Trees (CART). The use of the different tools and algorithms made it possible to identify through the calculations performed that the Random Forest algorithm worked and presented better precision for the supervised classification not only by the data obtained, it

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10 PAGINA: 4 de 39

could also be statistically demonstrated through the t test that RF had a higher percentage than the CART algorithm for the identification of the previously named coverages.

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizamos a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre nuestra obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
	PAGINA: 5 de 39

Autorizo (Autorizamos)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.



De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. **SI ___ NO X**. En caso afirmativo expresamente indicaremos, en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN


Como titulares del derecho de autor, conferimos a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) Los Autores, garantizamos que el documento en cuestión, es producto de nuestra plena autoría, de nuestro esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de nuestra creación original particular y, por tanto, somos los únicos titulares de la misma. Además, aseguramos que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10 PAGINA: 7 de 39

nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifestamos que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de nuestra competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el “Manual del Repositorio Institucional AAAM003”

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión	Tipo de documento
---	-------------------




(Ej. PerezJuan2017.pdf)	(ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. EVALUACIÓN DE CAMBIOS DE COBERTURA CON CLASIFICACIÓN SUPERVISADA EN LA SABANA DE OCCIDENTE PARA LOS AÑOS 2015 – 2020.word	Texto
2.	
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafo)
DEVIA CARRILLO DIEGO ALEJANDRO	
FRANCO MONTOYA MABEL ANDREA	

21.1-51-20

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 1 de 39

IDENTIFICACIÓN

Nombre(s) estudiante(s):	1. Diego Alejandro Devia Carrillo 2. Mabel Andrea Franco Montoya
Correo(s) electrónico(s):	dadevia@ucundinamarca.edu.co mandreafranco@ucundinamarca.edu.co
Fecha de presentación al comité del Trabajo de Grado:	Día: 13 Mes: 11 Año: 2020
Nombre director:	ROLANDO MENDOZA RINCON


1. TÍTULO

EVALUACIÓN DE CAMBIOS DE COBERTURA CON CLASIFICACIÓN SUPERVISADA EN LA SABANA DE OCCIDENTE PARA LOS AÑOS 2015 – 2020.

2. INTRODUCCIÓN

Los datos terrestres de uso y tipo de cobertura del suelo proveen información de importancia para el estudio y el establecimiento tanto de la gestión sostenible de recursos naturales como de los indicadores ambientales y de cambio climático, siendo lo anterior una base para varias aplicaciones de tipo técnico y científico (Borràs et al., 2017). Para lograr un estudio adecuado de la cobertura vegetal y del uso del suelo, una de las herramientas de uso actual es la implementación de sensores remotos. Dado que el volumen de información que proveen los sensores es elevado, se requiere el uso de algoritmos especiales para analizar y llegar a conclusiones acertadas y acordes con la realidad del área de estudio.

Para el desarrollo del proyecto, se llevó a cabo la comparación de dos algoritmos de clasificación supervisada que fueron aplicados en la Sabana de Occidente (Facatativá, El Rosal, Madrid, Mosquera, Funza, Subachoque, Zipacón, Bojacá) en un periodo de tiempo de 5 años para observar

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 2 de 39

el cambio de cobertura que han tenido estos municipios, estos fueron Random Forest y los Árboles de Clasificación de Regresión (CART).

El primero, permite corregir problemas de árboles de decisiones, estos se basan en crear una predicción de varios modelos sencillos que se obtienen de subconjuntos de la muestra inicial, para obtener un modelo final, que sería una combinación de los modelos obtenidos. En cuanto al segundo, crea modelos predictivos de clasificación y regresión, toma valores finitos, el error de predicción generalmente se mide con el error de clasificación (Monleón, Vegas, Reverter, 2016) lo que permitió determinar qué algoritmo es más exacto.


3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Sabana de Occidente se ha venido presentando como una de las zonas más importantes en cuanto a bienes y servicios para Bogotá y Cundinamarca por su ubicación geográfica y expansión, lo cual ha hecho que se convierta en una área estratégica para el incremento de la zona industrial y población, que ha presentado en este sentido beneficios en el sector económico en cuanto al incremento del PIB de Colombia y un desarrollo social.

Sin embargo, estos aumentos y beneficios traen consigo problemas que han evolucionado conjuntamente con el desarrollo del lugar, generando cambios en la cobertura de la tierra y así mismo produce impactos ambientales por su uso y explotación. (García, 2017)

Lo que se busca por medio de la clasificación supervisada es determinar los cambios que ha sufrido la cobertura de la tierra en los últimos 5 años en dicha zona de estudio y que es lo que más ocupa

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 3 de 39

en cuanto a porcentajes la cobertura de la zona de estudio. Es por eso, que se hizo un análisis de cobertura por medio de la aplicación de los algoritmos Random Forest y CART en los años 2015 y 2020, lo que también permitió contrastar los resultados obtenidos para determinar cuál de los dos algoritmos puede mejorar la exactitud de predicción y poder observar a dónde se dirige la Sabana en cuanto a términos de sector económico, social y ambiental.

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar los cambios de cobertura de la Sabana de Occidente en los años 2015 y 2020.


OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Contrastar los resultados de los algoritmos aplicados en la cobertura de la zona de estudio en los años 2015 y 2020.
- Determinar los cambios de la cobertura en la Sabana de Occidente en los años 2015 y 2020.
- Identificar los cambios de cobertura con clasificación supervisada en los años 2015 y 2020.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

Área de estudio

La Sabana de Bogotá se ubica geográficamente en la zona suroccidental del altiplano cundiboyacense, localizado en el centro oriente de Colombia; una subregión que se destaca por tener tierras de gran valor agropecuario, importantes fuentes de agua superficial y subterránea y que además aporta más del 60% del PIB del departamento de Cundinamarca, teniendo en cuenta que es la subregión geográfica que ha soportado en gran medida el incremento de la población

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAar113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 4 de 39

urbana. (Buelvas, 2014, p. 137). Buelvas, D. (2014). Tiene unas coordenadas 4°49'00"N 74°22'00"O, una superficie total de 932,51 km² y una población de 435.302.




Mapa 1. Mapa de localización de la Sabana de Occidente.

1. Para la ejecución del primer objetivo específico, se usó la recolección de imágenes Sentinel-2, obtenidas directamente de la plataforma Google Earth Engine, evitando píxeles de nubosidad y posterior a esto se realizó un recorte con el área de estudio. Para la clasificación de imágenes Sentinel-2 se utilizaron coberturas establecidas por el libro leyenda nacional de cobertura de la tierra:

Cobertura 0: Invernaderos

Cobertura 1: Bosque

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 5 de 39

Cobertura 2: Edificaciones

Cobertura 3: Carreteras

Cobertura 4: Cultivos

Cobertura 5: Ríos

Cobertura 6: Canteras

2. Para la ejecución del segundo objetivo específico se obtuvieron mapas mediante el uso de la herramienta ArcGis y Google Earth Engine, que permitió la observación aérea para la clasificación de las coberturas anteriormente nombradas.


3. Para la ejecución del tercer objetivo específico, se hizo en dos fases: Se utilizaron los algoritmos de clasificación supervisada Random Forest and Classification and Regression Trees en los 7 grupos de cobertura escogidos.

Para el análisis de la información, se utilizó la matriz de confusión la cual permitió la comparación de los dos algoritmos y a su vez se pudo verificar la información de los valores totales o porcentajes de datos observados y estimados para dicha clasificación, que finalmente mostró la precisión de clasificación.

Se calculó el coeficiente Kappa para verificar el nivel de concordancia entre la imagen clasificada y la realidad observada y a partir de la matriz se pudo también realizar los siguientes cálculos.

-Precisión global

$$P = \frac{\sum_{i=1}^m x_{ii}}{N}$$

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 6 de 39

Ecuación 1. precisión global

-Precisión del productor

$$Pp = \frac{x_i}{x \sum_i}$$

Ecuación 2. Precisión del productor

-Precisión del usuario

$$Pp = \frac{X_{ii}}{\sum x_i}$$

Ecuación 3. Precisión del usuario

-Coeficiente kappa:

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^m x_{ii} - \sum_{i=1}^m \sum x_i \sum x}{N^2 - \sum_{i=1}^m \sum x_i \sum x}$$

Ecuación 4. Coeficiente Kappa

Donde m= Número total de clases,

\square = Número total de píxeles de las m clases de referencia,

$\square \square \square$ = elementos de la diagonal principal de matriz de confusión,


$\square \Sigma \square$ = suma de los píxeles de clase i de referencia y

$\square \square \Sigma$ = suma de los píxeles clasificados como la clase i.

Se calcularon también la varianza desviación estándar, intervalos de confianza 90% y 95%

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{N}$$

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 7 de 39

Ecuación 4. Varianza

$$S^2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{N}}$$

Ecuación 5. Desviación estándar

$$\bar{x} - 1.645 \frac{S^2}{\sqrt{n}} ; +1.645 \frac{S^2}{\sqrt{n}}$$


Ecuación 6. Intervalos de confianza para 90%

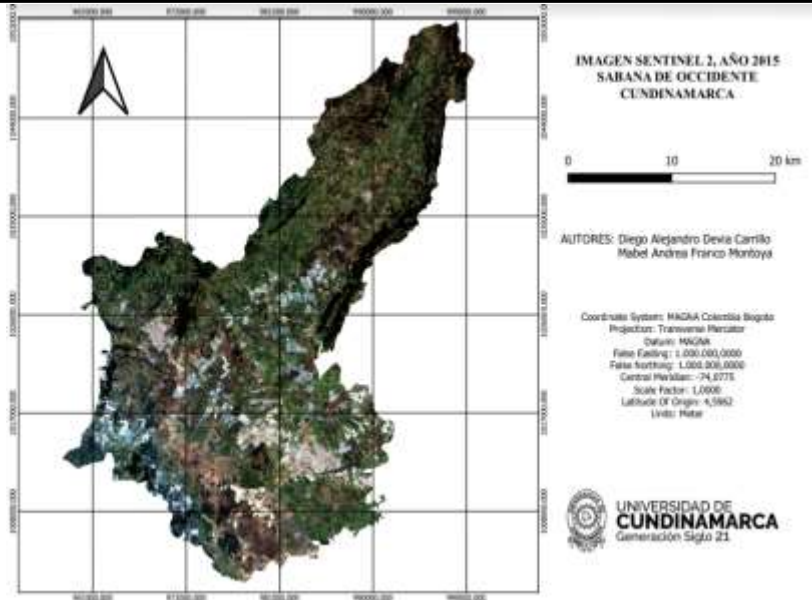
$$\bar{x} - 1.96 \frac{S^2}{\sqrt{n}} ; +1.96 \frac{S^2}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 7. Intervalos de confianza para 95%

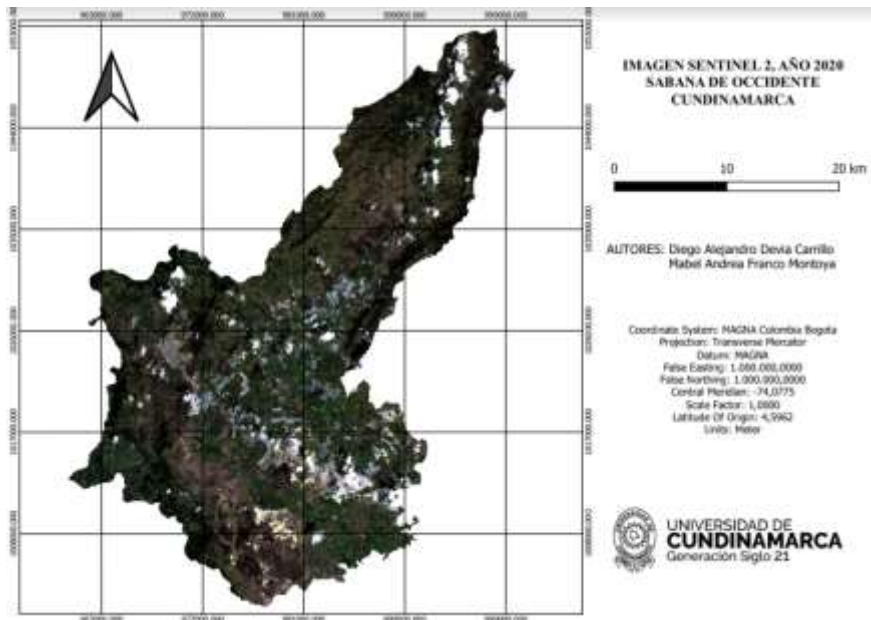
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los cambios en la cobertura se han venido presentando desde hace varios años por la presencia de diferentes factores que han alterado y cambiado su uso (Rojas, García, 2016). Hoy en día, la Sabana de Occidente por ser una zona central que se encuentra cerca de la capital ha sido una de las más modificadas y en expansión en los últimos años. La diferencia topográfica que presenta el lugar puede condicionar así mismo la aptitud de los suelos y su manejo. En la Sabana esta división se presenta en planas, laderas y láminas de agua, con porcentajes de 32.3%, 66.1% y 1.6% respectivamente. A partir de ciertas características, se realizó la clasificación supervisada con la filtración de imágenes Sentinel-2 de los años nombrados anteriormente (2015-2020) con el menor porcentaje de nubosidad posible y para mayor precisión se usaron las cuatro bandas de resolución de 10 metros (B2, B3, B4, B8).

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 8 de 39




Mapa 2. Imagen Sentinel-2 de la Sabana de Occidente, año 2015



Mapa 3. Imagen Sentinel-2 de la Sabana de Occidente, año 2020

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 9 de 39

Como se puede observar en los mapas obtenidos a la plataforma Google Earth Engine, a pesar de haber usado imágenes con el menor porcentaje de nubosidad posible se alcanzó a presentar un poco de estas en ambos años. Para el año 2015, fue mucho más fácil la clasificación ya que las nubes se presentaron en zonas donde estaba presente la cobertura de bosques (municipio de Zipacón y Bojacá), pero que sin embargo el algoritmo confundió con la cobertura de invernaderos. Para el año 2020 la incidencia de nubes fue un poco mayor y estas sí estuvieron presentes en zonas urbanas, zonas de bosque y carreteras, (Bojacá, Facatativá, Madrid, Subachoque, Zipacón) lo cual hizo un poco más difícil la clasificación de estas, para esta imagen al realizar la clasificación, el algoritmo tomó también las zonas de nubes con zonas de invernaderos, que se puede observar en los mapas con la clasificación ya realizada pero sin embargo, al presentarse este problema en la clasificación, los datos no estuvieron lejanos de la realidad.


Con la imagen que se obtuvo se realizó una clasificación supervisada de las diferentes coberturas establecidas anteriormente, de los cuales se tomaron diferente cantidad de puntos de entrenamiento (tabla 1) con el fin de verificar el porcentaje que cada algoritmo arrojó.

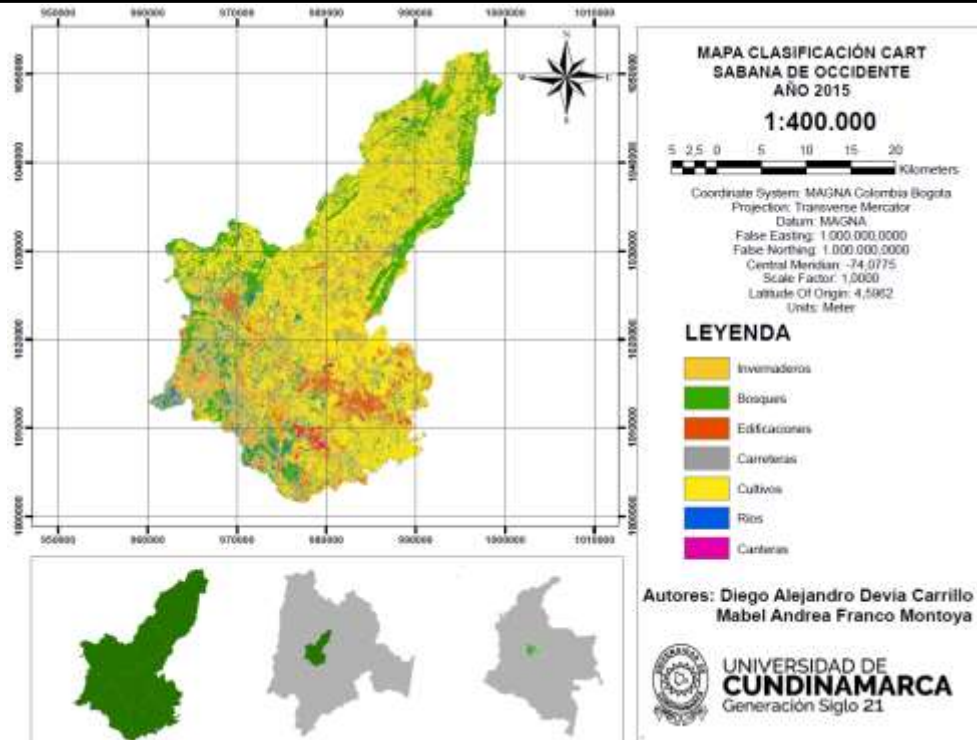
Tabla 1. Número de puntos para cada entrenamiento.

Clasificación	Entrenamiento 1	Entrenamiento 2
Invernadero	300	150
Bosque	400	150
Edificaciones	300	100
Carreteras	250	100
Cultivos	300	150
Ríos	130	70
Canteras	100	50


Al realizar cada clasificación para cada año, se observaron los siguientes mapas

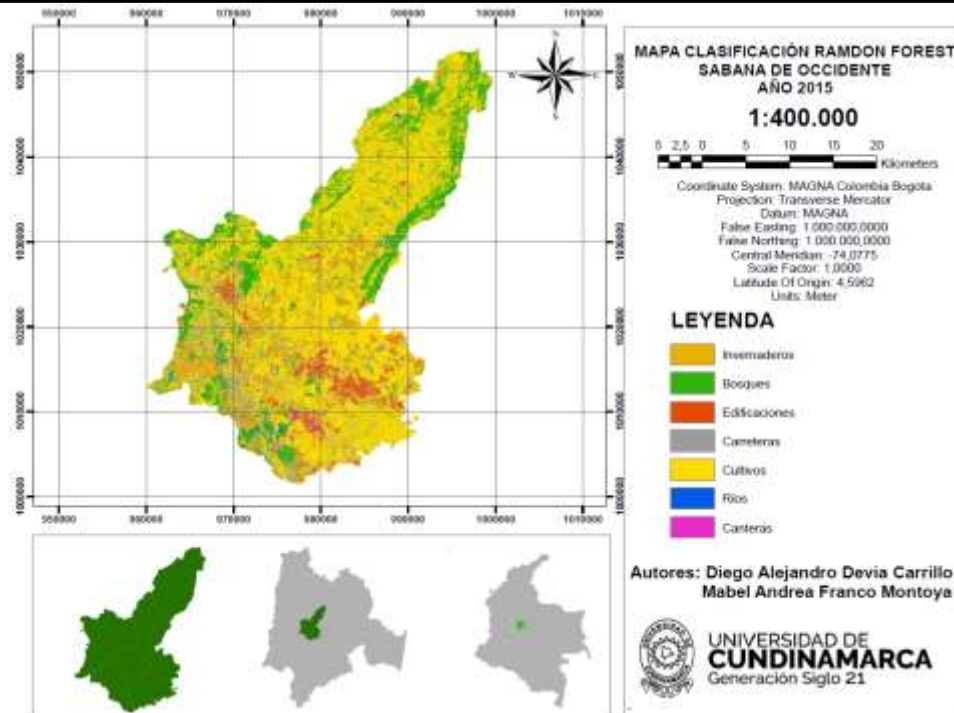
Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 10 de 39




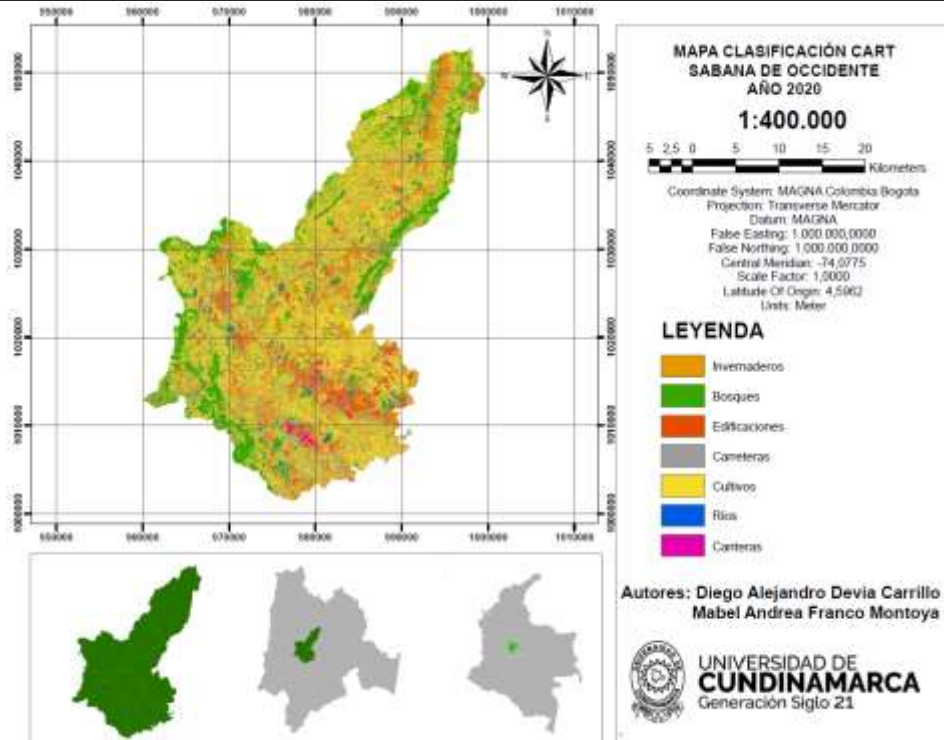
Mapa 4. Clasificación de la Sabana de Occidente con el algoritmo CART para el año 2015

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 11 de 39




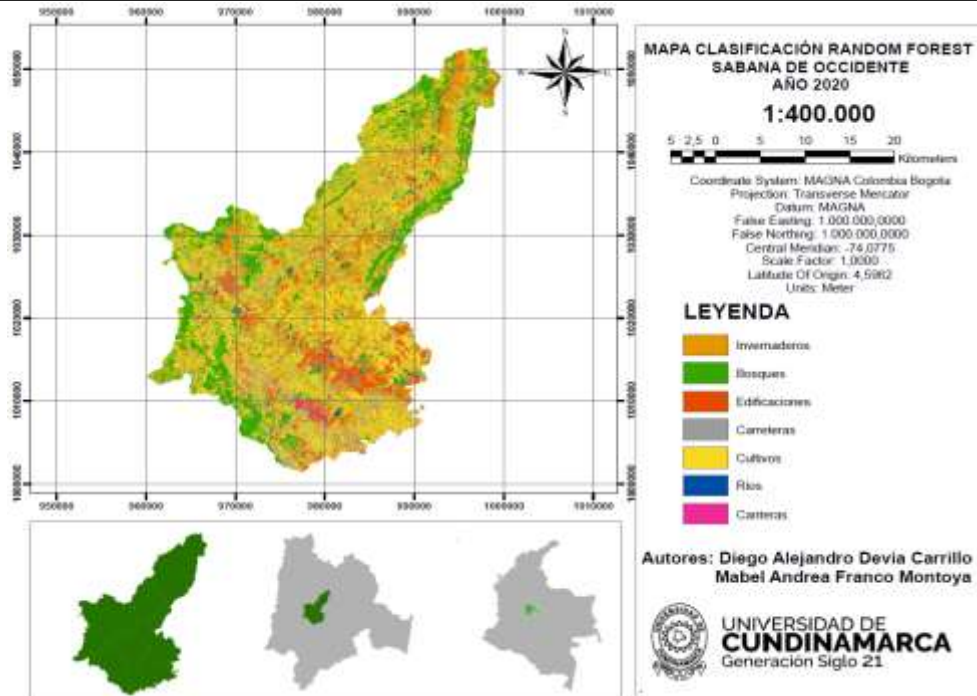
Mapa 5. Clasificación de la Sabana de Occidente con el algoritmo RF para el 2015

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 12 de 39



Mapa 6. Clasificación de la Sabana de Occidente con el algoritmo CART para el 2020


	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 13 de 39



Mapa 7. Clasificación de la Sabana de Occidente con el algoritmo RF para el 2020

Para ambos algoritmos se calculó una matriz de confusión, esta matriz, permite visualizar el desempeño de un algoritmo supervisado en este caso Random Forest y CART. Cada columna de la matriz representa el número de predicciones de cada clase, mientras que cada fila representa a las instancias en clase real, esto quiere decir que permite ver que aciertos y error está teniendo el modelo al momento de pasar por el proceso de aprendizaje con los datos (Barrios, 2019), como se muestra en las tablas 2, 3, 4, 5.

Tabla 2. Validación matriz de error para el algoritmo Random Forest, año 2020.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10 PAGINA: 14 de 39

		Validación matriz de error Random Forest							Total
		Invernadero	Bosque	Edificaciones	Carreteras	Cultivos	Ríos	Canteras	
Clasificación	Invernadero	140	0	10	0	0	0	0	150
	Bosque	0	137	0	0	3	10	0	150
	Edificaciones	9	0	87	4	0	0	0	100
	Carreteras	2	0	0	86	11	1	0	100
	Cultivos	0	1	0	5	144	0	0	150
	Ríos	0	5	0	1	1	63	0	70
	Canteras	0	0	2	0	0	0	48	50
	Total	151	143	99	96	159	74	48	770

PRODUCERS

Tabla 3. Validación, matriz de error para el algoritmo CART, año 2015.

		Validación matriz de error CART							Total
		Invernadero	Bosque	Edificaciones	Carreteras	Cultivos	Ríos	Canteras	
Clasificación	Invernadero	137	0	10	2	0	0	1	150
	Bosque	0	118	0	0	15	17	0	150
	Edificaciones	8	0	85	7	0	0	0	100
	Carreteras	7	1	5	78	9	0	0	100
	Cultivos	0	0	4	5	140	1	0	150
	Ríos	0	3	0	1	2	64	0	70
	Canteras	0	0	4	0	0	0	46	50
	Total	152	122	108	93	166	82	47	770


PRODUCERS

Tabla 4. Validación matriz de error para el algoritmo Random Forest, año 2020.

		Validación, matriz de error Random Forest							Total
		Invernadero	Bosque	Edificaciones	Carreteras	Cultivos	Ríos	Canteras	
CLASIFICACIÓN	Invernadero	146	0	2	2	0	0	0	150
	Bosque	0	148	0	0	0	2	0	150
	Edificaciones	2	0	54	22	22	0	0	100
	Carreteras	10	4	15	63	8	0	0	100
	Cultivos	0	3	2	9	136	0	0	150
	Ríos	0	5	0	0	2	63	0	70
	Canteras	0	0	4	0	0	0	46	50
	Total	158	160	77	96	168	65	46	770

PRODUCERS

Tabla 5. Validación matriz de error para el algoritmo CART, año 2020

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 15 de 39

		Validación, matriz de error Cart							Total
		Invernadero	Bosque	Edificaciones	Carreteras	Cultivos	Rios	Canteras	
CLASIFICACIÓN	Invernadero	127	0	14	9	0	0	0	150
	Bosque	0	146	0	0	0	4	0	150
	Edificaciones	0	0	44	20	35	0	1	100
	Carreteras	6	3	22	62	6	1	0	100
	Cultivos	0	2	8	9	128	3	0	150
	Rios	0	5	0	0	2	63	0	70
	Canteras	0	0	2	1	0	0	47	50
	Total		133	156	90	101	171	71	48

PRODUCERS

USERS

Para ambos años se hicieron los diferentes cálculos en cuanto al índice Kappa, PPC, varianza, desviación estándar e intervalos de confianza. El coeficiente Kappa refleja la concordancia inter-observador, en las cuales se contrastaron los dos algoritmos (ANEXOS), al presentarse valores cercanos a +1 quiere decir que será mayor el valor de concordancia. (Villaruel, 2008) En cuanto a los algoritmos, estos valores presentaron para Random Forest 0.90 y CART 0.84 para el año 2015 y de 0.82 para Random Forest y 0.76 para CART (tabla 6 y 7 respectivamente), lo que indicó buenos niveles de concordancia.


Tabla 6. Cálculos estadísticos de los algoritmos RF y CART, año 2015

Algoritmo	PPC (%)	Kappa (k)	Varianza	SD	Int. Confianza 90%		Int. Confianza 95%	
					màx	mìn	màx	mìn
RF	91,6%	0,90	0,000100	0,0100	0,932	0,899	0,935	0,896
CART	86,8%	0,84	0,000149	0,0122	0,888	0,847	0,891	0,844

Tabla 7. Cálculos estadísticos de los algoritmos RF y CART, año 2020

Algoritmo	PPC (%)	Kappa (k)	Varianza	SD	Int. Confianza 90%		Int. Confianza 95%	
					màx	mìn	màx	mìn
RF	85,2%	0,82	0,000164	0,0128	0,873	0,831	0,877	0,827
CART	80,1%	0,76	0,000207	0,0144	0,825	0,778	0,829	0,773

Para los intervalos de confianza se calculó también la varianza y desviación estándar, se escogieron

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 16 de 39

del

90% y 95% estos describen la variabilidad de la media obtenida en el estudio realizado lo que indica que el valor real se encuentra en un parámetro de 90 y 95% de certeza.

El cálculo de PPC indica que el pixel que se escogió aleatoriamente perteneciente a esa categoría está asignado correctamente a la clasificación correspondiente, indica de esta forma lo que está bien consignado en el mapa, este cálculo viene acompañado también de la precisión del usuario, que indicó un porcentaje de los elementos de comprobación que están bien clasificados (Sánchez, 2016).

Para el año 2015, este cálculo arrojó porcentajes de 91.6% para RF y 86.8% para CART y de para RF 85.2 y para CART 80.1 del año 2020 que según estos porcentajes indicó que están bien clasificados. Para las métricas de PPC de los algoritmos se realizó la siguiente gráfica.

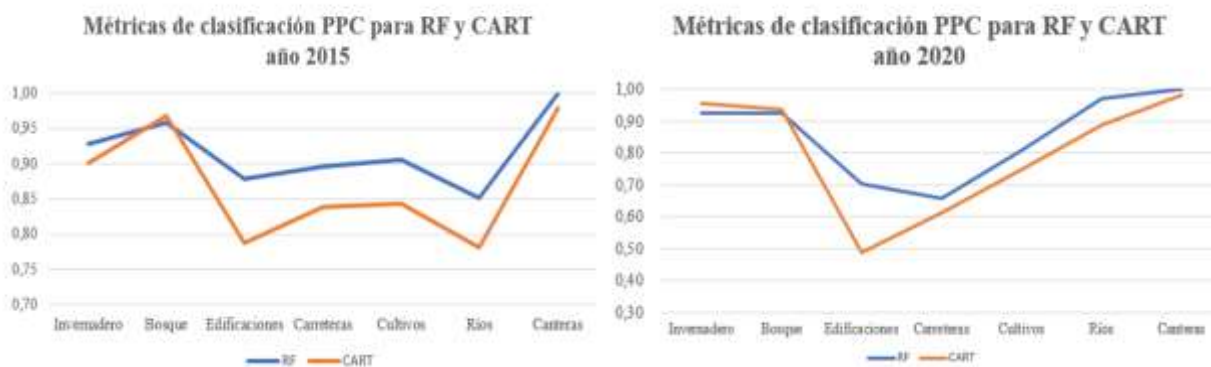



Figura 2. Métricas de clasificación PPC para RF y CART, año 2015 y 2020

Al realizar esta gráfica, indica que la clasificación de Random Forest muestra un porcentaje más alto de clasificación en cuanto a CART, estas presentaron una buena correlación ya que se puede

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2


	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 17 de 39

observar en ambas gráficas que al subir o bajar una, sube y baja la otra. Se presenta casi que el mismo patrón. Sin embargo, para corroborar la información de que algoritmo es mucho más exacto para una clasificación, se realizó la prueba t para medias de dos muestras emparejadas (en este caso para los algoritmos RF y CART) ya que nos permite comparar dos muestras que están relacionadas. (ANEXO). Al realizarse la prueba, indicó que la correlación de Pearson, mostró un valor de 0.96 que según el autor Ruíz Bolívar, esto indicó una correlación muy alta (tabla 8) ya que se encuentra entre los rangos de 0.81 y 1.00.

Tabla 8. Interpretación del coeficiente Pearson (Ruíz Bolívar, 2002)

RANGOS	MAGNITUD
<u>0,81 a 1,00</u>	<u>Muy Alta</u>
0,61 a 0,8	Alta
0,41 a 0,6	Moderada
0,21 a 0,40	Baja
0,01 a 0,20	Muy Baja

Como se puede observar en la gráfica 2 se presenta una correlación muy buena para ambos algoritmos en los dos años, lo cual verifica el resultado estadístico obtenido en la prueba t medias de dos muestras emparejadas.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 18 de 39

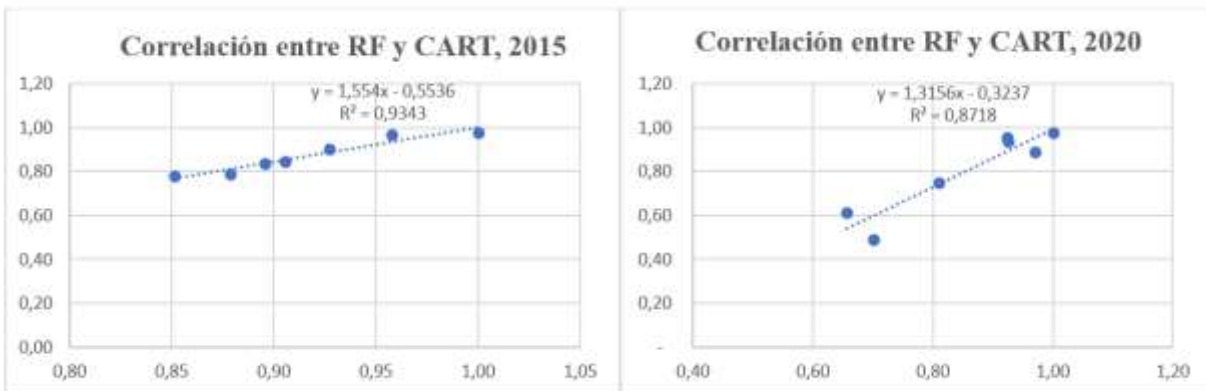



Figura 3. Correlación Random Forest y CART, año 2015 y 2020

Sin embargo, el estadístico t mostró un valor de 3.5. Para esta prueba, se observa una diferencia significativa si el estadístico t es mayor al valor crítico de t (dos colas). (Ruíz Bolívar, 2016) En este caso, al presentar el estadístico t un valor de 3.5 y 2.44 para el valor crítico t (dos colas) indicó estadísticamente que el algoritmo Random Forest va a realizar una clasificación supervisada más exacta para la Sabana de Occidente.

A partir de los datos obtenidos, ya que estadísticamente se pudo comprobar que el algoritmo Random Forest trabaja mucho mejor para la clasificación supervisada, teniendo en cuenta también que para varios artículos investigados este algoritmo funcionó mucho mejor para la clasificación realizada, siendo así, identificaron los cambios de las coberturas de los años 2015 y 2020 con él. La plataforma Google Earth Engine, arrojó las áreas ocupadas por las coberturas identificadas, indicando los siguientes valores en km².

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 19 de 39

Tabla

9. Cambio de las coberturas en km² para el algoritmo Random Forest

Cambio de coberturas km² para RF		
CLASES	2015	2020
Invernadero	55,6	46,69
Bosque	154,9	172,81
Edificaciones	38,08	96,64
Carreteras	84,58	139,04
Cultivos	535,61	412,16
Ríos	32,83	21,49
Canteras	4,79	6,95

Para estas clasificaciones, el algoritmo confundió algunos píxeles ya que no se obtuvo una imagen con porcentaje de nubosidad nulo y además en cuanto a los diferentes píxeles, por su color o por un valor similar. En el caso de los ríos, no se identificó de manera correcta el píxel, esto por la presencia bosques de galería que se dan con la vinculación a la rivierra de un río, también, la presencia de varios colores similares en los píxeles como en las clasificaciones de edificaciones, carretera o incluso invernaderos que ambos algoritmos confundieron. Por otra parte, la clasificación de bosque se generó de una manera óptima, sin embargo, la gran cantidad de cultivos que presenta la Sabana significa un aumento en los monocultivos que se observa mediante el aumento en el fraccionamiento de bosque, que a su vez disminuye la variedad de especies.

No obstante, el trabajo realizado por los algoritmos muestra una precisión general para RandomForest de 0.96% para el año 2015 y de 0.98% para 2020 y para la validación general de precisión una de 0.85 para el año 2015 y 0.91% para el 2020. En cuanto al algoritmo CART, se presentaron valores de 1 para ambos años en la precisión general y de 0.80 para el año 2015 y 0.86

para el año 2020 en la validación general de precisión y que además la plataforma arrojó las siguientes gráficas.

Color	Clasificación Random Forest 2015	Porcentaje %
	Invernadero	6,1
	Bosque	17,1
	Edificaciones	4,2
	Carreteras	9,3
	Cultivos	59,1
	Ríos	3,6
	Cantera	0,6

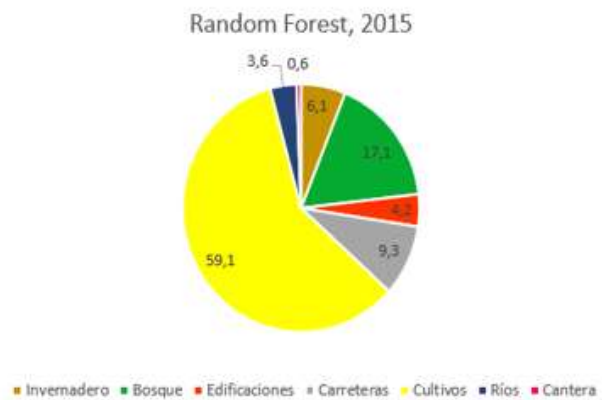


Figura 4. Clasificación Random Forest, año 2015.

Color	Clasificación CART 2015	Porcentaje %
	Invernadero	5,6
	Bosque	13,9
	Edificaciones	4,8
	Carreteras	9,7
	Cultivos	57,2
	Ríos	8,2
	Cantera	0,6

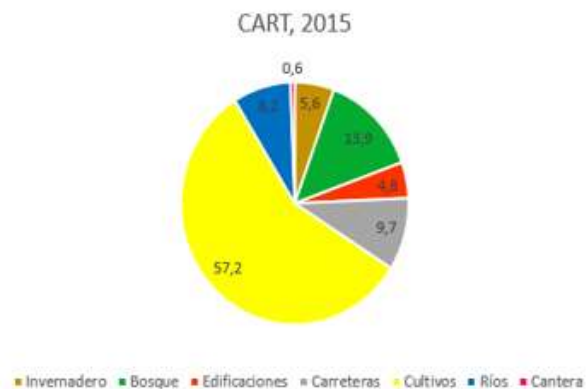


Figura 5. Clasificación CART, año 2015

Color	Clasificación Random Forest 2020	Porcentaje %
■	Invernadero	5,2
■	Bosque	21,3
■	Edificaciones	11,9
■	Carreteras	13,6
■	Cultivos	46,3
■	Ríos	1,2
■	Cantera	0,5

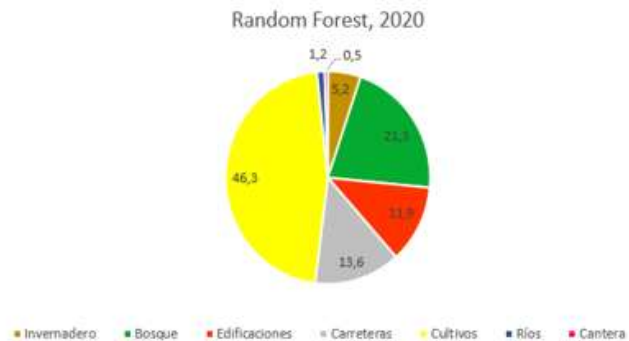


Figura 6. Clasificación Random Forest, año 2020.

Color	Clasificación CART 2020	Porcentaje %
■	Invernadero	5,2
■	Bosque	19,3
■	Edificaciones	10,8
■	Carreteras	15,5
■	Cultivos	46
■	Ríos	2,4
■	Cantera	0,8

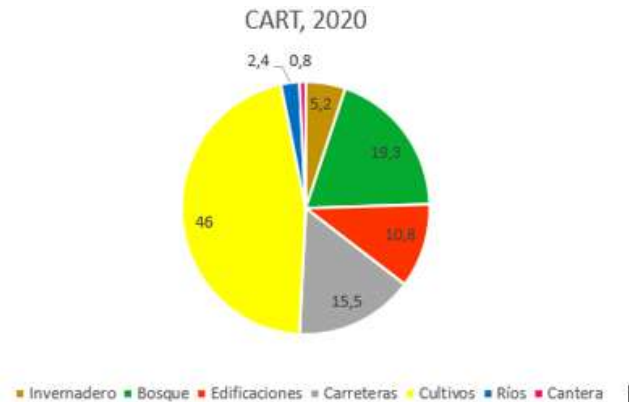


Figura 7. Clasificación CART, año 2020.

Al comparar ambos años, se pudo obtener también la prueba t de medias para dos muestras emparejadas, en este caso comparando los años de cobertura 2015 y 2020 y que aumentos o disminuciones han tenido las coberturas evaluadas, la cual mostró la siguiente figura.

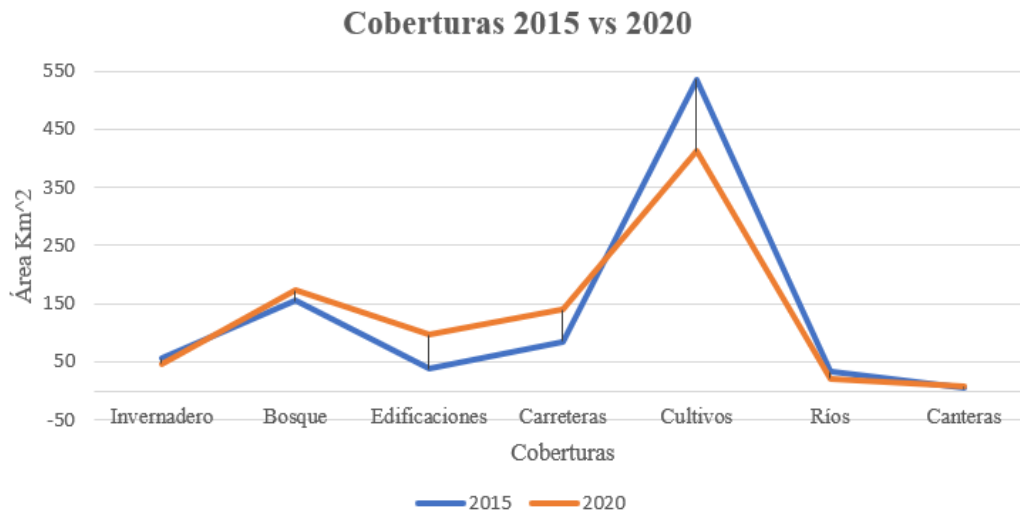



Figura 8. Coberturas 2015 y 2020

En cuanto a la correlación de Pearson tiene un valor de 0.96 lo que indicó una buena correlación para ambos años y estadísticamente no hay una diferencia significativa ya que el estadístico t presenta un valor menor al valor crítico t (dos colas) de 0.062 y 2.44 respectivamente (Anexo, tabla 19), esto puede presentarse a que el periodo de tiempo evaluado fue de 5 años y que muy seguramente no se mostrarían grandes cambios en la cobertura por ser un periodo de tiempo más corto, pero que sin embargo, si hubo modificaciones y cambios en su uso. Al realizar el gráfico de correlación de áreas se observa que presentan un valor alto como se dijo anteriormente.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 23 de 39

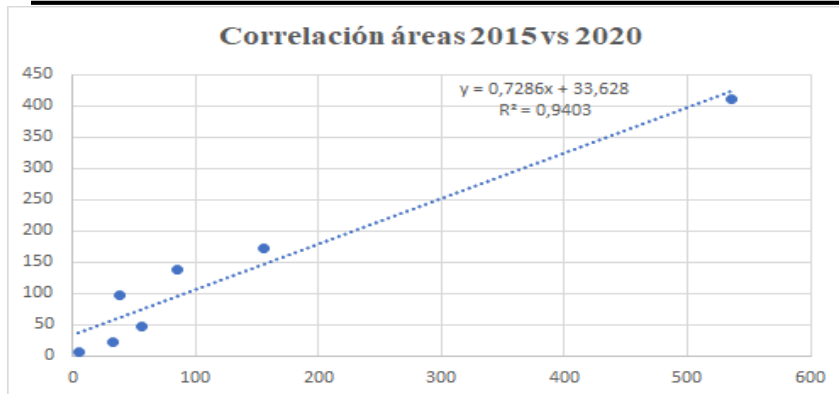



Figura 9. Correlación de áreas en km² para los años 2015 y 2020

Como se dijo anteriormente, la Sabana de Occidente ha estado en constante cambio y expansión para el progreso de las diferentes actividades de desarrollo que ha modificado el uso del suelo. Las gráficas anteriormente presentadas, muestran un gran porcentaje para la clasificación de cultivos (Figuras 4,5,6,7), La Sabana, cuenta con gran cantidad de cultivos, Cundinamarca es considerado como unos de los mejores suelos para el desarrollo de esta actividad. (IGAC, 2020)

La mayoría de los cultivos presentes son los transitorios, que según el Dane son cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año. Estos cultivos que según la clasificación Corine Land Cover se dividen en cereales, oleaginosas y leguminosas, hortalizas y tubérculos y se presentan en los 8 municipios, mientras que, para los cultivos permanentes, estos sólo están presentes en Facatativá, El Rosal y Subachoque, en cuanto a estos cultivos después de plantados llegan en un tiempo relativamente largo a la edad productiva, generan varias cosechas y terminada su recolección no se los debe plantar de nuevo, estos se dividen en herbáceos, arbustivos y arbóreos. (IDEAM, 2012).


	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 24 de 39

El

desarrollo económico de la zona de estudio se basa principalmente en esta actividad, sin embargo, se han venido disminuyendo gran cantidad de áreas, pasando de ser 535.61 km² a 412.16 km² de esta cobertura con una pérdida de 123.45 km², esto se debe por el aumento de edificaciones, que, como se puede observar en la tabla 8 esta cobertura tuvo un incremento de

58.56 según la clasificación realizada, como se sabe, el aumento de la urbanización en la Sabana de Occidente se ha presentado de manera acelerada, según el IGAC *“en el 63% de esta zona, cultivos como papa y cebolla han sido reemplazados por ladrillos o lotes de engorde para futuros proyectos urbanísticos.”* (IGAC, 2020).


De acuerdo con el exministro de Ambiente, Manuel Rodríguez Becerra, hay crecimiento desordenado de vivienda en los municipios y no hay control administrativo para limitar este crecimiento desbordado (Gómez, 2014), además, el precio por m² (\$/m²) en Bogotá, ocasionó un desplazamiento de las empresas constructoras hacia la sabana (Salazar, 2012, p. 33). Esto debido a el alza como tendencia en los precios de vivienda. Otra de las razones por la expansión descontrolada del crecimiento de edificaciones en el área de estudio vendría siendo la tranquilidad y estabilidad que muchos municipios ofrecen, la llegada de nuevas empresas, que, también han presentado un aumento en la Sabana, el desarrollo de la industria ha ocasionado también la pérdida de cultivos, la formación brindada por las universidades que se establecen en estos municipios, incrementando no solamente las cadenas de supermercado más reconocidas si no también los proyectos de vivienda de interés social,(Peña, 2010, p. 46). Todo este desarrollo urbanístico,

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 25 de 39

genera también un incremento en la construcción de carreteras que del 2015 al 2020 según la clasificación RF tuvo un incremento de 54.46.

Estas construcciones, no solo perjudica al desarrollo agrícola en cuanto al PIB que genera La Sabana al país, sino también, una serie de impactos ambientales que pone en riesgo el uso del suelo, el incremento de contaminación atmosférica, pérdida de bosques, flora, fauna y componente hídrico teniendo en cuanto la demanda que genera la realización de estas actividades, aumento de residuos y basuras, enfermedades en los seres humanos, entre otros aspectos que condicionan el uso del suelo, son sólo unas de las problemáticas que ha ocasionado este incremento de edificaciones y carreteras y que muy seguramente en el futuro van a continuar.


En cuanto a los cambios de cobertura obtenidos para los años 2015 y 2020 con el algoritmo Random Forest, se determinó que para el año 2015 existían 55,6 km² de invernaderos y para el año 2020 se redujo a 46,69 km², lo que probablemente indica, un desmontamiento de invernaderos por circunstancias legales, ya que según el decreto 1071 de 2015, se regula el tiempo de funcionamiento para los invernaderos, esto teniendo en cuenta que los impactos producto de los invernaderos, involucra contaminación por residuos sólidos, contaminación del agua y el suelo producto de los fertilizantes utilizados. Por otro lado, una de las razones que probablemente llevó a la disminución de invernaderos es el contexto de urbanización que vive constantemente la sabana de occidente, este proceso de urbanización anteriormente mencionado se deriva del plan de ordenamiento territorial (POT) del año 2000, que originó cambios en el uso del suelo cuando lo rural pasó a ser urbano. Causando además un cambio en las costumbres de los habitantes del área

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 26 de 39

de estudio, llevando a los municipios de sabana de occidente un estilo de vida propio de ciudades grandes como Bogotá.


Los resultados obtenidos para bosque, indicaron que para el año 2015 alrededor de 154,9 km² de bosque ocupaban un 17,1% por ciento del área de estudio, para el año 2020 se obtuvo 172,81 km², lo que indicó un aumento del área de bosques, observándose un 21,3% por ciento del territorio. La Red de Jóvenes de Ambiente, la Fundación Red de Árboles y otras fundaciones, se reúnen en el Humedal la Herrera, así como en diferentes puntos estratégicos de la sabana de occidente con el fin de sembrar árboles nativos. Esta iniciativa empezó debido al aumento exponencial en la erosión del suelo ocasionada por el alto nivel de desarrollo, deforestación, talas, quemas, transformación del suelo, deficiencias en disponibilidad de agua, fenómenos de heladas, factores históricos de tenencia, baja rentabilidad en las condiciones económicas y tecnologías actuales y mal uso de los elementos químicos aplicados al suelo para el área de estudio (ALCALDÍA MUNICIPAL DE MOSQUERA, 2014), sin embargo en la actualidad son muchos los proyectos que tratan de implementar estrategias para reforestar y así recuperar dichas zonas ambientales.

La clasificación de cobertura obtenida para ríos, presentó el menor nivel de exactitud de todos los resultados, sin embargo, se halló que para el año 2015 existía 32,83 km² de extensión en ríos, mientras que para el año 2020 se obtuvo 21,49 km², Según los datos arrojados por los algoritmos, se resalta primeramente que si existe un nivel de disminución en el recurso hídrico el cual está relacionado con la primera temporada de lluvias de este año, entre abril y mayo, las precipitaciones fueron deficitarias de manera generalizada en el territorio. En abril, el acumulado de las lluvias

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 27 de 39


alcanzó solo el 35%, es decir, un déficit del 65%, y en mayo el acumulado fue del 37%, es decir, un déficit del 63%; razón por la cual, no se logró estabilizar el volumen del recurso hídrico teniendo en cuenta que esta es la época propicia para su recuperación. (CAR, 2020). Cabe resaltar que algunos de los municipios de la sabana de occidente se ven muy afectados por la escasez del recurso hídrico, siendo la disminución de las fuentes hídricas una de las problemáticas que más puede afectar a la sabana de occidente.

Canteras ha presentado un aumento no muy significativo en tamaño para los años 2015 a 2020, mostrando que para el 2015 4,79 km² de extensión era cantera, en la actualidad 2020 6,95 km² son de extensión minera, la cobertura “Canteras” se encuentra ubicada específicamente en el Humedal laguna la herrera, Son varias las compañías que se encuentran explotando las montañas aledañas a la laguna, Asogas (Planta de almacenamiento y envasado de GLP), San Fernando LTDA (Cantera y escombrera), Cantera Montanel, Doble A Ingeniería (Planta de asfalto), Centrasa, IncoAsfaltos (Industria Colombiana de Asfaltos SA, materiales asfálticos utilizados en el sector de infraestructura vial) entre otras, con una licencia de uso válida hasta el año 2030. Anteriormente dicho la expansión de cantera, ha sido no muy significativa en área, sin embargo, las afectaciones ambientales, son graves respecto al humedal, si bien la laguna conserva gran parte de su extensión, el cuerpo de agua está cubierto por vegetación acuática, son muy pocos los espejos que se vislumbran, el pasto kikuyo invade procesos de reforestación e invade espacio donde habitaba agua, pero sin duda la minería en la Laguna de La Herrera es la problemática más notoria y de mayor impacto sobre el ecosistema.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 28 de 39

7. CONCLUSIONES

- A pesar de que en algunas zonas de la Sabana de Occidente se evidenció la presencia de nubes que interfirió en la clasificación supervisada, fue posible la mayoría del reconocimiento de las coberturas que fueron evaluadas.
- El uso de las diferentes herramientas y algoritmos permitió identificar a través de los cálculos realizados que el algoritmo Random Forest funcionó y presentó una mejor precisión para la clasificación supervisada no solo por los datos obtenidos, también se pudo demostrar estadísticamente a través de la prueba t que RF tuvo un porcentaje más alto que el algoritmo CART para la identificación de las coberturas anteriormente nombradas.
- El conocimiento de la cobertura de la tierra permite una mejor planificación del uso del territorio principalmente sobre la disposición, vocación, uso y potencialidades del suelo. Por eso, el uso de herramientas como la percepción remota, permite que sea más sencillo visualizar parte de la realidad de la zona de estudio que además facilita la toma de decisiones y que puede apuntar hacia dónde se dirige el desarrollo del lugar.
- Fue factible diferenciar los tipos de cobertura de suelos para la Sabana de Occidente en Cundinamarca, por medio de clasificaciones supervisadas a partir de imágenes Sentinel-2. La clasificación alcanza índices relativamente buenos de precisión, pudiéndose además observar los cambios ocurridos desde el año 2015 hasta el 2020, siendo la cobertura de cultivos la que presentó mayor porcentaje de cobertura de suelo y aunque disminuyó en el año 2020 esta siguió siendo mayor (59,1% para el año 2015 y 46,3% para el año 2020).

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 29 de 39


- Se hizo posible identificar los cambios que ha presentado la Sabana de Occidente en cuanto a las coberturas clasificadas por medio de los diferentes medios que se utilizaron en el trabajo, es importante reconocer que el uso de herramientas SIG brinda información importante para el desarrollo de un territorio y hacia dónde puede dirigirse su actividad económica, social, cultural, ambiental.

8. BIBLIOGRAFÍA

-Borrás, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira, M., G., & Camps-Valls, G. (2017). Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2 Revista de Teledetección, 55-66

-García, (2017). Verticalidades y horizontalidades en la configuración de la Sabana Occidente como puerto seco de Bogotá Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/terri/n41/0123-8418-terri-41-197.pdf>

-(Buelvas, 2014, p. 137). Buelvas, D. (2014). *Gobernanza metropolitana. Urbanización y organización territorial en la Sabana de Bogotá*. (Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá) Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2989/03CAPI02.pdf?sequence=9&isAllowed=y>

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 30 de 39


Rojas, García, (2016). Análisis de cambios de usos y coberturas del suelo en los municipios el Rosal y Subachoque Recuperado de: [Http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4469/1/Analisis%20de%20cambios%20de%20usos%20y%20coberturas%20del%20suelo%20en%20los%20municipios%20el%20Rosal%20y%20Subachoque.pdf](http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4469/1/Analisis%20de%20cambios%20de%20usos%20y%20coberturas%20del%20suelo%20en%20los%20municipios%20el%20Rosal%20y%20Subachoque.pdf)

-Barrios, (2019)La matriz de confusión y sus métricas Recuperado de: <https://www.juanbarrios.com/la-matriz-de-confusion-y-sus-metricas/>

Villarroel,(2008), Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. Recuperado de: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcp/v79n1/art08.pdf>

-Sánchez, (2016), Análisis de Calidad Cartográfica mediante el estudio de la Matriz de Confusión. Recuperado de: http://www2.camino.upm.es/Departamentos/matematicas/revistapm/revista_impresa/vol_VI_numero_2/inv_calidad_carto.pdf

-Ruíz Bolivar, Carlos (2015). Confiabilidad. Programa Interinstitucional Doctorado en Educación. Recuperado de: <http://200.11.208.195/blogRedDocente/alexisduran/wp-content/uploads/2015/11/CONFIABILIDAD.pdf>, (Octubre 2016)

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 31 de 39

IGAC, (2020) La sabana de Bogotá se está quedando sin terreno para cultivar. Recuperado de: <https://igac.gov.co/es/noticias/la-sabana-bogota-se-esta-quedando-sin-terrenos-para-cultivar-iga>

-IDEAM, (2012) CATÁLOGO DE PATRONES DE COBERTURAS DE LA TIERRA COLOMBIA, Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/153716/Catalogo+Coberturas+Tierra.pdf/f2eafe32-f300-4ae7-9ab7-f90a8670d75e>

-IGAC, (2020) La Sabana Bogotá se está quedando sin terrenos para cultivar: IGAC. Recuperado de: <https://igac.gov.co/es/noticias/la-sabana-bogota-se-esta-quedando-sin-terrenos-para-cultivar-igac>

-Salazar, N. S. (2012). ¿Qué tan desalineados están los precios de la vivienda en Colombia? Bogotá: Fedesarrollo. Recuperado de: <http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/Que-tan-desalineados-est%C3%A1n-los-precios-de-la-vivienda-en-Colombia-INFF-201110028.pdf>

-Peña, C. R. (2010). Índice de Urbanización Municipal: Una aplicación a Bogotá y su teórica área metropolitana. Territorios, 33-57

9. ANEXOS

Se anexa en un archivo comprimido los mapas obtenidos, matrices, gráficas y algoritmo utilizado